



**Universidade de
Aveiro**
Ano 2012

Departamento de Ambiente e
Ordenamento

**Helena França
Machado**

Exportação de Nutrientes em Plantações de Eucalipto e de Pinheiro

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor Mário Miguel Azevedo Cerqueira, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, e da Doutora Maria Ermitas Rial Rivas, Estagiária de Pós-doutoramento do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Dissertação desenvolvida no âmbito do projecto HIDRIA (PTDC/CTE-GEX/71651/2006) e FIRECNUTS (PTDC/AGRCFL/104559/2008), com apoio financeiro da FCT/MCTES, através de fundos nacionais (PIDDAC) e com co-financiamento pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do COMPETE – Programa Operacional Factores de Competitividade (POFC).

Dedico este trabalho aos meus pais, irmão e ao Rui pelo constante apoio.

o júri

presidente

Prof.^a Doutora Ana Paula Duarte Gomes

Prof.^a Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da
Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António José Dinis Ferreira

Prof. Adjunto do Departamento de Ciências Exatas e do Ambiente da
Escola Superior Agrária de Coimbra

Prof. Doutor Mário Miguel Azevedo Cerqueira

Prof. Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da
Universidade de Aveiro

Doutora María Ermitas Rial Rivas

Estagiária de Pós-doutoramento do Departamento de Ambiente e
Ordenamento. Universidade de Aveiro.

agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço à minha família e, em especial, aos meus pais e irmão pelo apoio incondicional durante estes anos. Sem eles, todo este percurso teria sido impossível.

Em segundo lugar, agradeço ao meu namorado Rui pelo constante apoio prestado durante todo este tempo, pela confiança e fé depositadas em mim e pela sua energia positiva.

O meu muito obrigado à Virgínia e família pelo carinho, amizade e ajuda durante este percurso longe de casa.

Agradeço aos meus amigos e, em especial, à minha grande amiga Madalena pela amizade e companheirismo.

O meu obrigado à equipa do projeto HIDRIA, em especial aos meus companheiros das saídas de campo Juliana, Léo e Daniela por tornarem as coisas muito mais fáceis.

Agradeço à Raquel pela ajuda preciosa no trabalho de laboratório, pelas conversas, conselhos e experiências partilhadas.

O meu sincero agradecimento aos meus orientadores, Mitas e Professor Mário pela orientação e apoio prestados, bem como pela disponibilidade que sempre demonstraram.

Agradeço ao Jan Jacob Keizer por me ter incentivado ao longo de todo o trabalho.

palavras-chave

Azoto total, fósforo total, eucalipto, pinheiro, exportação de nutrientes.

resumo

As perdas de azoto e fósforo totais, por escorrência e às escalas de parcela e bacia, foram estudadas durante o ano hidrológico 2011/12 em plantações de *Eucalyptus globulus* e *Pinus pinaster* em duas micro bacias pertencentes à bacia hidrográfica do rio Vouga (centro de Portugal). Durante o período de estudo, foram recolhidas e analisadas 64 amostras de escorrência superficial à escala de parcela (32 em pinhal e 32 em eucaliptal), e 122 amostras de escoamento nos ribeiros, 72 delas durante os picos de cheia. As determinações de azoto e fósforo totais foram realizadas por um método colorimétrico integrado num sistema por injeção em fluxo. Os resultados mostraram diferenças na exportação de nutrientes nos dois tipos de uso do solo, tanto à escala de bacia como à escala de parcela, estando claramente condicionadas pelas diferenças na geração de escorrência nos dois tipos de floresta. As estimativas de exportação de fósforo total para eucaliptal foram de 0,032 kg/ha·ano e de 0,063 kg/ha·ano para o pinhal. No entanto, para o azoto total as exportações foram mais elevadas com 0,467 kg/ha·ano para o eucaliptal e de 1,457 kg/ha·ano para o pinhal.

keywords

Total nitrogen, total phosphorus, eucalypt, pine, nutrient export.

abstract

Total nitrogen and phosphorus losses in surface runoff at plot scale and in total streamflow at catchment scale were studied during the hydrological year 2011/12 in *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* stands in two micro-catchments belonging to Vouga river basin (north-central Portugal). During the study period were collected and analyzed a total of 64 samples of surface runoff (32 in pine and 32 in eucalypt) and 122 total streamflow samples at catchment scale, 72 during the peak flow events. Total nitrogen and phosphorus determinations were done using a colorimetric method and integrated in a flow injection system. The results showed differences in nutrient exports from both land uses at plot and catchment scale that can be related to the differences in runoff and streamflow generation in both types of forest. The estimated total phosphorus exports were 0.032 kg/ha-year for eucalypt and 0.063 kg/ha-year for pine. Exports of total nitrogen were higher 0.467 kg/ha-year for eucalypt and 1.457 kg/ha-year for pine.

Índice

| | |
|--|-----|
| Índice de Figuras | iv |
| Índice de Tabelas | vii |
| Notação | ix |
| Siglas e acrónimos..... | x |
| Nomenclatura química | xi |
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO | 1 |
| Objetivos e estrutura da dissertação | 3 |
| Enquadramento..... | 4 |
| Ciclo biogeoquímico dos nutrientes..... | 5 |
| Características das florestas – floresta de eucalipto e de pinhal..... | 8 |
| Exportação de nutrientes por escorrência superficial e usos do solo..... | 10 |
| CAPÍTULO 2 - EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM DIFERENTES USOS DO SOLO | 15 |
| Resumo..... | 17 |
| Abstract..... | 17 |
| Keywords: total nitrogen, total phosphorus, eucalypt, pine, nutrient export..... | 18 |
| Introdução | 18 |
| Área de estudo | 19 |
| Materiais e métodos | 21 |
| Desenho experimental..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Recolha de amostras e análises laboratoriais | 23 |
| Análises estatísticas | 24 |
| Resultados e discussão..... | 24 |
| Exportação de nutrientes à escala de parcela | 24 |
| Valores globais de escorrência, nutrientes, sedimentos, condutividade e pH | 24 |
| Evolução temporal da mobilização de nutrientes e escorrência superficial..... | 26 |
| Evolução temporal da mobilização de nutrientes e humidade do solo | 29 |
| Relações entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados | 32 |
| Exportação de nutrientes à escala de bacia..... | 36 |
| Características gerais das amostragens e comportamento hidrológico das bacias em estudo | 36 |
| Valores globais de escoamento, nutrientes, sedimentos, condutividade e pH durante o escoamento basal em ambas as bacias | 40 |
| Valores globais de escoamento, nutrientes, sedimentos, condutividade e pH durante eventos de cheia na bacia de Serra de Cima | 43 |
| Evolução temporal da mobilização de nutrientes e sedimentos durante os picos de cheia em Serra de Cima..... | 44 |
| Relações entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados durante o caudal de base em ambas as bacias..... | 53 |
| Relações entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados durante os picos de cheia em Serra de Cima | 54 |
| Estimativas da exportação de nutrientes e sedimentos nas bacias em estudo e para o período de estudo | 55 |
| Conclusões | 61 |
| CAPITULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 63 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 67 |

| | |
|---|----|
| ANEXOS..... | 73 |
| Anexo A: Características das bacias em estudo..... | 74 |
| Anexo B: Comportamento hidrológico das bacias em estudo. | 77 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Esquematização do ciclo dos nutrientes no ecossistema floresta (ATTIWILL et al., 1993)..... | 6 |
| Figura 2 – Ciclo do azoto. | 7 |
| Figura 3 – Ciclo do fósforo. | 8 |
| Figura 4 – Localização da área de estudo. | 20 |
| Figura 5 – Parcelas da área de estudo. a) Eucaliptal; b) Pinhal. Estruturas hidráulicas da área de estudo. c) Serra de Cima; d) Lourizela. | 22 |
| Figura 6 – Valores globais de escurrência, perdas de nutrientes e sedimentos, condutividade e pH nas parcelas estudadas. | 25 |
| Figura 7 – Evolução temporal da exportação de NT (a) e PT (b) e da escurrência superficial para os dois usos do solo..... | 27 |
| Figura 8 – Evolução temporal das perdas de sedimentos ao longo do período de estudo. | 28 |
| Figura 9 – Evolução temporal das concentrações de nutrientes ao longo do período de estudo..... | 29 |
| Figura 10 – Evolução temporal das perdas de NT e PT com humidade do solo antecedente nas parcelas durante o período de estudo..... | 30 |
| Figura 11 – Precipitação e escoamento mensal nas bacias de estudo durante os dois anos hidrológicos prévios e o período de estudo do presente trabalho. | 37 |
| Figura 12 – Evolução temporal do caudal diário e representação dos pontos de amostragem para ambas as bacias durante o período de estudo. | 38 |
| Figura 13 – Resposta hidrológica ao primeiro evento de precipitação amostrado da bacia de: a) Serra de Cima b) Lourizela. | 39 |

| | |
|---|----|
| Figura 14 – Valores globais de caudal, perdas de nutrientes e sedimentos, condutividade e pH durante o escoamento basal e à escala de bacia para o período de estudo..... | 42 |
| Figura 15 – Evolução temporal da exportação de nutrientes durante o escoamento basal para ambas as bacias..... | 43 |
| Figura 16 - Valores globais de condutividade e pH durante os picos de cheia e à escala de bacia para o período de estudo..... | 44 |
| Figura 17 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo do pico de cheia do evento 1. | 45 |
| Figura 18 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo dos picos de cheia dos eventos 2, 3 e 4. | 46 |
| Figura 19 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo do pico de cheia do evento 5. | 47 |
| Figura 20 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo do pico de cheia do evento 6. | 48 |
| Figura 21 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo dos picos de cheia do evento 7, 8 e 9..... | 49 |
| Figura 22 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo dos picos de cheia do evento 10 e 11..... | 50 |
| Figura 23 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo dos picos de cheia do evento 12 e 13..... | 51 |
| Figura 24 – Gráficos com relação polinomial entre caudal horário, perdas de nutrientes e sedimentos em Serra de Cima durante o período de estudo. | 55 |
| Figura 25 – Evolução estimada da exportação de nutrientes com o caudal médio ao longo dos meses de estudo..... | 58 |
| Figura 26 – Comportamento hidrológico dos diferentes picos de cheia em Serra de Cima amostrados durante o período de estudo..... | 80 |

| | |
|--|----|
| Figura 27 – Comportamento hidrológico dos diferentes picos de cheia em Lourizela amostrados durante o período de estudo (picos coincidentes com os amostrados em Serra de Cima). | 81 |
|--|----|

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Características das encostas das bacias estudadas. | 21 |
| Tabela 2 – Características geométricas, do sistema de drenagem, do relevo e da ocupação do solo das bacias em estudo. | 22 |
| Tabela 3 – Resumo das perdas de nutrientes, escurência, precipitação, coeficiente de escurência e intensidade máxima dos eventos de precipitação nas parcelas durante o período de estudo. | 32 |
| Tabela 4 – Correlações de Spearman dos diferentes parâmetros estudados nas parcelas de eucaliptal. | 33 |
| Tabela 5 – Correlações de Spearman dos diferentes parâmetros estudados nas parcelas de pinhal. | 34 |
| Tabela 6 – Gamas de concentrações de nutrientes obtidas por outros autores na mesma bacia em estudo (parcelas com A=16 m ²). | 36 |
| Tabela 7 – Gama de valores das concentrações e exportações de nutrientes e sedimentos durante os eventos de precipitação para Serra de Cima. | 51 |
| Tabela 8 – Gama de valores das concentrações de nutrientes segundo FERREIRA (1996) | 52 |
| Tabela 9 – Correlações de Spearman entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados durante o escoamento basal em Serra de Cima. | 53 |
| Tabela 10 – Correlações de Spearman entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados durante o escoamento basal em Lourizela. | 54 |
| Tabela 11 – Correlações de Spearman entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados durante os picos de cheia em Serra de Cima. | 55 |
| Tabela 12 – Estimativas da exportação de nutrientes e sedimentos nos picos de ambas as bacias para o período de estudo. | 56 |

Tabela 13 – Estimativas da exportação de nutrientes e sedimentos durante o período de estudo e para ambas as bacias.57

Tabela 15 – Coeficientes de exportação de azoto e fósforo total segundo diferentes autores (Fonte: RIAL-RIVAS (2007)).....60

Notação

| | | |
|-------------------|--|---------------|
| $A_{parcela}$ | Área da parcela | [ha] |
| C_i | Concentração de nutrientes e/ou sedimentos | [mg/l] |
| V_{esc} | Volume de escorrência | [mm] |
| m_i | Massa de nutrientes e/ou sedimentos mobilizada | [g/ha] |
| P_{total} | Precipitação total | [mm] |
| $I_{máx}$ | Intensidade máxima de precipitação em 15 minutos | [mm/h] |
| $I_{méd}$ | Intensidade média de precipitação em 15 minutos | [mm/h] |
| $P_{antecedente}$ | Precipitação antecedente | [mm] |
| $Q_{máx}$ | Caudal máximo | [mm] ou [L/s] |
| $Q_{méd}$ | Caudal médio | [mm] ou [L/s] |
| Q_{base} | Caudal de base | [mm] ou [L/s] |
| C_{Esc} | Coeficiente de escorrência | % |
| CE | Condutividade eléctrica | [μ S/cm] |
| K_c | Índice de Gravelius | |
| K_f | Factor forma | |
| λ | Densidade de drenagem | |
| \bar{P}_s | Percurso médio do escoamento superficial | [km] |
| \bar{Z} | Altitude média | [m] |

Siglas e acrónimos

| | |
|---------|---|
| ADN | Ácido desoxirribonucleico |
| ADP | Difosfato de adenosina |
| ANAMMOX | Oxidação anaeróbia da amónia |
| ATP | Trifosfato de adenosina |
| ISO | Organização Internacional para Padronização |
| NT | Azoto total |
| PT | Fósforo total |
| SST | Sólidos suspensos totais |
| SDT | Sólidos dissolvidos totais |
| VWC | <i>Volumetric water content</i> /humidade do solo |
| COT | Carbono orgânico total |

Nomenclatura química

| | |
|-----------------------|--------------------------------|
| CH_2O | Matéria orgânica biodegradável |
| CO_2 | Dióxido de carbono |
| H_2 | Hidrogénio |
| H^+ | Ião hidrogénio |
| H_2O | Água |
| N | Azoto |
| N_2 | Azoto molecular |
| N_2O | Óxido nítrico |
| NH_3 | Amoníaco |
| NH_4^+ | Amónia |
| NO_2^- | Nitrito |
| NO | Óxido nítrico |
| NO_3^- | Nitrato |
| O_2 | Oxigénio molecular |
| P | Fósforo |
| PO_4^{3-} | Fosfato |
| K | Potássio |

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Objetivos e estrutura da dissertação

Este trabalho tem como objetivo quantificar as taxas de exportação de azoto e fósforo, nas formas totais (particulada e dissolvida), em florestas comerciais de eucalipto e pinhal não ardidas, através da escorrência superficial, às escalas de parcela e bacia, e avaliar a influência dos distintos tipos de floresta no fluxo de nutrientes. Para atingir esse objetivo, procurou-se, com esta dissertação, estabelecer:

- Relações entre as perdas de nutrientes e os usos do solo nas bacias hidrográficas em estudo;
- Relações entre as perdas de nutrientes e a precipitação;
- Relações entre as perdas de nutrientes e as condições de humidade do solo durante os eventos de precipitação;
- Relações entre as perdas de nutrientes, volume de escorrência e caudais;
- Relações entre as perdas de nutrientes e as perdas de sedimentos;
- Estimativas das exportações de nutrientes nos dois usos do solo;
- Comparação com a bibliografia existente.

Esta dissertação encontra-se dividida em três capítulos.

No presente capítulo, aborda-se a importância e a motivação que levaram à realização deste trabalho. Faz-se uma breve introdução sobre o ciclo dos nutrientes e apresentam-se vários estudos sobre a exportação de nutrientes, por escorrência superficial, em solos com diferentes usos. São ainda apresentadas as características dos solos em causa neste estudo.

No segundo capítulo, apresentado em formato de artigo, é possível encontrar uma descrição da área de estudo, os materiais e métodos utilizados, os resultados obtidos e sua discussão, e, por fim, as principais conclusões.

No terceiro capítulo são apresentadas as considerações finais e algumas sugestões de melhoria sobre o assunto em estudo.

Enquadramento

Ao longo dos últimos 50 anos, a atividade humana tem vindo a alterar os ciclos biogeoquímicos dos nutrientes e carbono. Como resultado destas alterações, ocorrem mobilizações maciças de nutrientes bioativos no solo, como o azoto e fósforo, assim como alterações significativas no ciclo hidrológico global (SEITZINGER et al., 2005).

Em Portugal, os estudos sobre a exportação de nutrientes são usualmente focados em áreas agrícolas ou em parte do ciclo bioquímico (NUNES et al., 2007, PEREIRA et al., 2009). Contudo, os usos do solo na região Centro-Norte do país são maioritariamente plantações comerciais de *Eucalyptus ssp* (cerca de 23% da área florestal) e *Pinus ssp* (cerca de 30% da área florestal) (IFN5, 2006) e, como tal, existe uma lacuna de informação no que respeita à exportação de nutrientes em áreas com esta ocupação.

Os poucos estudos já realizados em áreas florestais, no centro de Portugal, incidiram sobre os fluxos de nutrientes em bacias hidrográficas após incêndios, tendo sido desenvolvidos por THOMAS et al. (1999a, 2000a, 2000b) e FERREIRA et al. (2005), o primeiro no âmbito do projeto IBERLIM – “*Land management practice and erosion limitation in contrasting wildfire and gullied locations in the Iberian Peninsula*” e o segundo no âmbito dos projetos CLIMED – “Efeitos da mudança climática e da variabilidade climática na disponibilidade da água e nas práticas de gestão da água no Mediterrâneo Ocidental”, FAIR – “*Development of Amelioration Strategies to reduce Environmental Deterioration and Agricultural Productions Losses in Water Repellent Regions*” e SILVAQUA – “Avaliação dos impactes das alterações climáticas sobre os recursos hídricos e a fixação de CO₂ por povoamentos florestais de crescimento rápido em Portugal”. Ambos os estudos foram realizados na mesma área explorada na presente dissertação.

Mais recentemente, o projeto FIRECNUTS (PTDC/AGRCFL/104559/2008) – “Efeitos de fogos florestais na quantidade e dinâmica de carbono e nutrientes no solo e na sua exportação por escorrência superficial” tem desenvolvido estudos sobre os efeitos diretos e indiretos de fogos florestais nos conteúdos de carbono, nutrientes (N, P, K) e matéria orgânica do solo superficial numa pequena bacia situada no concelho de Sever do Vouga, a qual também pertence à bacia hidrográfica do rio Vouga.

Com o presente trabalho, pretende-se colmatar aquela lacuna de conhecimento, quantificando a exportação de azoto e fósforo totais em florestas comerciais de eucalipto

e pinheiro não ardidas. Como objetivo último do trabalho, pretende-se contribuir para a construção de uma base de dados que poderá vir a servir como um modelo de comparação com áreas florestais com os mesmos usos de solo mas recentemente ardidas.

O trabalho foi realizado no âmbito do projeto HIDRIA (PTDC/CTE-GEX/71651/2006) e FIRECNUTS (PTDC/AGRCFL/104559/2008), coordenados pela Universidade de Aveiro e financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, o qual tem vindo a estudar os processos hidrológicos de quatro pequenas bacias, com menos de 1 km², povoadas com *Eucalyptus globulus* Labill. e *Pinus pinaster* Aiton, localizadas na Serra do Caramulo, Centro-Norte de Portugal, e pertencentes à bacia do rio Vouga.

Ciclo biogeoquímico dos nutrientes

O solo é um componente fundamental na manutenção dos ecossistemas, servindo de suporte aos seres vivos e sendo uma fonte de nutrientes. Conforme as proporções em que se encontram normalmente nas plantas, têm-se os macronutrientes - carbono, oxigénio, hidrogénio, azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre - e os micronutrientes - ferro, manganês, zinco, cobre, molibdénio, boro e cloro (COSTA, 2004). Estes podem ser encontrados no solo nas formas não assimiláveis (o elemento faz parte de um composto e não pode ser absorvido pelas raízes sem alteração ou decomposição deste), permutáveis (os iões são absorvidos na superfície de partículas da fração mineral sólida ou da fração orgânica do solo e, em parte, assimiláveis pelas plantas) e dissolvidas (forma mais assimilável) (COSTA, 2004).

O ciclo de nutrientes em florestas abrange um conjunto de processos biogeoquímicos que se traduz em entradas e saídas de nutrientes nestes ecossistemas terrestres (ATTIWILL et al., 1993, BORMANN et al., 1967), na transferência de nutrientes entre plantas e solo (processos de absorção e lixiviação) e na redistribuição interna dos nutrientes como o fósforo e o azoto (Figura 1). Os nutrientes podem entrar no ecossistema terrestre através da deposição húmida, deposição seca e fixação biológica. As saídas acontecem através da escorrência e na forma gasosa (desnitrificação e volatilização provocada pelo fogo). A meteorização das rochas-mãe liberta também quantidades de nutrientes em formas mais disponíveis (ATTIWILL et al., 1993).

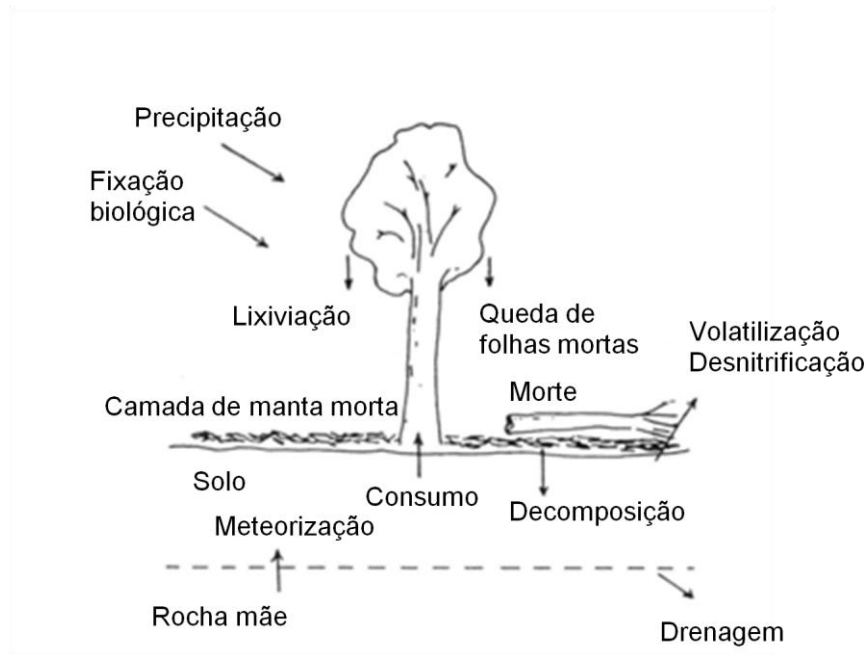


Figura 1 - Esquemática do ciclo dos nutrientes no ecossistema floresta (ATTIWILL et al., 1993).

O azoto é o quarto elemento mais abundante nas plantas e aquele que mais frequentemente limita o crescimento vegetal (VARENNES, 2003). Pode ser encontrado na atmosfera, água, solo, sedimentos e nos componentes orgânicos dos seres vivos (aminoácidos, proteínas e ADN). Na sua forma mais abundante não pode ser absorvido pelos animais e plantas, pelo que sofre processos de fixação, nitrificação e amonificação por fungos e bactérias aeróbias e anaeróbias, originando três formas mais simples: amónia (NH_4^+), nitritos (NO_2^-) e nitratos (NO_3^-). No processo de fixação natural de azoto, o N_2 e o N_2O são convertidos, respetivamente, em amoníaco e amónia (NH_3 e NH_4^+) por bactérias fixadoras de N e em NO por descargas elétricas na atmosfera. Nos processos industriais e de combustão, o N_2 é convertido em NO_3^- e NH_3 , respetivamente. No processo de amonificação, a decomposição microbiana de compostos orgânicos resultantes do metabolismo animal ou da morte dos seres vivos leva à libertação de NH_3 e NH_4^+ . No processo de nitrificação, bactérias nitrificantes, na presença de oxigénio, oxidam o NH_3 a NO_2^- e NO_3^- .

Na ausência de oxigénio, bactérias anaeróbias utilizam nitratos no processo respiratório e libertam para atmosfera azoto na forma de N_2 . Este processo designa-se por desnitrificação. Outro processo é a oxidação anaeróbia da amónia (ANAMMOX) em que ocorre oxidação anaeróbia de NH_4^+ realizada por bactérias especializadas que reduzem o nitrito NO_2^- e oxidam a NH_4^+ , libertando azoto molecular. Parte das formas de azoto não

são utilizadas pois perdem-se por evaporação, infiltração e escorrência. Na Figura 2 encontram-se as principais etapas do ciclo do azoto.

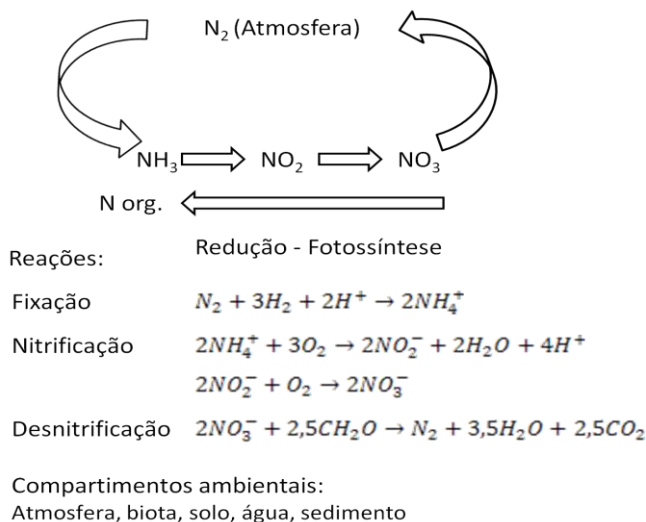


Figura 2 – Ciclo do azoto.

O fósforo é o segundo elemento que mais frequentemente limita o crescimento vegetal (VARENNES, 2003). Pode ser encontrado em rochas, solo, água, biota e sedimento, sendo fundamental para os organismos nas reações bioquímicas do material genético e na transferência de energia (ATP, ADP). Apresenta-se essencialmente na forma de fosfato (PO_4^{3-}), sendo obtido através do processo de meteorização das rochas. Por meio de bactérias, regressa ao meio na forma solúvel, sendo facilmente transportado através da escorrência. As etapas do ciclo do fósforo compreendem a dissolução, absorção biológica e remineralização. Através do processo de meteorização, o fósforo, na forma de PO_4^{3-} , é dissolvido e transportado até aos rios e ao oceano, por escorrência superficial e infiltração, e absorvido pelas raízes das plantas e pelos peixes, entrando na cadeia alimentar. Uma vez no mar, pode ser utilizado pelos ecossistemas ou depositado em sedimentos rasos ou profundos. As principais etapas do ciclo do fósforo encontram-se esquematizadas na Figura 3.

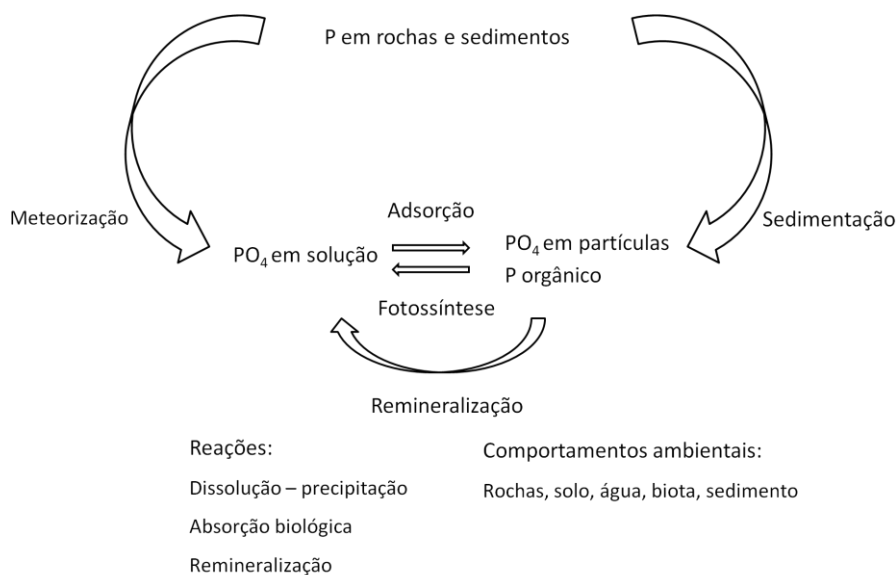


Figura 3 – Ciclo do fósforo.

Características das florestas – floresta de eucaliptal e de pinhal

A floresta constitui um microclima distinto em comparação com outros usos da terra. Dos diversos tipos de floresta, cada um tem características diferentes, tais como a composição de espécies, tamanho, diversidade e densidade, cuja variabilidade depende principalmente da temperatura e precipitação. Em hidrologia florestal, é de realçar o estudo das dimensões das plantas, da densidade da copa, da manta morta e dos sistemas de raízes, pois despertam efeitos na água, solo e movimento de nutrientes (CHANG, 2003).

A copa, tronco e sistemas de raízes comportam funções biológicas e ambientais vitais. A copa é uma componente fundamental nos processos de fotossíntese, transpiração, respiração, interceção da precipitação, fluxo de carbono, nevoeiro e condensação de nuvens, dissipação da radiação solar e movimentos dos ventos, entre outros. O tronco, por sua vez, interfere no transporte de água e nutrientes, serve de suporte das copas e promove o processo de transpiração, entre outras funções. Por último, os sistemas de raízes promovem a absorção e transporte de água e nutrientes, bem como a respiração, reforçam e melhoram a estrutura dos solos, aumentam a sua permeabilidade, retardam o escoamento superficial e esgotam a sua humidade (CHANG, 2003).

O eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) é uma espécie de folhosa proveniente da Austrália. É considerada uma espécie de crescimento rápido, podendo atingir os 80

metros em estado adulto. Possui folhas persistentes com elevada capacidade de absorção de água e nutrientes, e apresenta uma grande capacidade de adaptação às condições ecológicas de uma parte significativa do território nacional. Devido às características da copa, as perdas por intercepção de precipitação no eucalipto são menores do que em outras plantações ou floresta nativa (SOARES, 2006). A casca destas árvores, com ciclo de troca anual, pode ser classificada como lisa ou enrugada e interfere na escorrência pelo tronco. Eucaliptos jovens apresentam menor rugosidade e, consequentemente, menor absorção e quantidade de escorrência pelo tronco (FERREIRA, 1996). O sistema radicular do eucalipto, muito denso à superfície, faz com que absorva mais água à superfície, reduzindo o efeito sobre os lençóis freáticos (LIMA et al., 1998, SOARES, 2006). A fotossíntese realiza-se durante quase todo ano. Adapta-se praticamente a todos os tipos de solo, mesmo os mais pobres, mas a sua produtividade é maior nos solos com abundância de água, não compactos e com um teor de cálcio relativamente baixo (LIMA et al., 1998). Nas florestas de folhosas, o escoamento superficial é ligeiramente menor do que nas florestas de coníferas, pois aquelas possuem uma manta densa e com boa estrutura. Quando explorados intensivamente, em povoamentos de elevada densidade e rotações curtas, provocam elevada imobilização de nutrientes na biomassa e nos horizontes do solo, provocando a rarefação de nutrientes dos horizontes superficiais do solo (MADEIRA et al., 2007). O ciclo de nutrientes nos eucaliptais é rápido, devido à fácil decomposição da matéria orgânica e à presença de raízes finas ativas em abundância, que absorvem os nutrientes e evitam perdas. Uma parte do azoto é retranslocado internamente sem que tenha de ser adquirido por absorção radicular, evitando-se perdas por erosão ou lavagem do solo. Os eucaliptos encontram-se entre as espécies associadas a uma maior hidrofobia. Possuem capacidade de emitir rebentos na própria copa após fogo florestal e têm facilidade de germinar em áreas recentemente ardidas. Assim como o pinheiro-bravo, têm elevado grau de inflamabilidade devido à presença de substâncias voláteis. Ao nível da biodiversidade e da conservação dos valores naturais, o carácter invasor e a combustibilidade dos povoamentos de eucalipto assumem consequências drásticas (SILVA, 2007).

O pinheiro-bravo (*Pinus pinaster Aiton*) é uma espécie de conífera nativa da Europa e Mediterrâneo. É uma resinosa de crescimento rápido, de porte médio, alcançando os 40 metros. A copa pode ser piramidal (árvores jovens) ou esférica (árvores adultas). Pode atingir os 200 anos, mas geralmente não excede os 100 anos. As suas folhas são

persistentes, rígidas e em forma de agulhas. As principais funções das agulhas são a assimilação do carbono e o armazenamento de nutrientes minerais. Os gomos formam-se nas extremidades dos ramos e tronco principal e têm como função sintetizar algumas hormonas que controlam o desenvolvimento da árvore. O pinheiro-bravo começa a florir desde os sete anos de idade. Da fecundação surge a pinha. O tronco, nas árvores jovens, possui uma casca espessa, rugosa e com fendas avermelhadas. Nas árvores adultas, a casca é menos espessa, pouco gretada, mais unida e de cor acinzentada (SILVA, 2007). A ramificação é verticilada (três ou mais ramos a partir do mesmo nó), densa e quando são pinheiros jovens é muito espaçada e ampla. O sistema radicular é constituído por raízes superficiais e por raízes profundas. O pinheiro-bravo possui boa resistência em solos pobres e de texturas ligeiras. É intolerante a solos compactados, hidromórficos e de texturas pesadas, bem como a solos com calcário ativo. Desenvolve-se em solos siliciosos ou silicoargilosos e permeáveis. Promove a fixação das dunas do litoral em areias pobres em matéria orgânica e nutrientes (FERNANDES et al., 2007). Devido às características de inflamabilidade resultantes da presença de compostos voláteis (resina), à presença de uma camada de manta morta no solo, o solo e o sub-bosque abundante, é a espécie mais afetada pelos fogos florestais. No entanto, possui características que lhe concedem alguma resistência ao fogo, como sejam a casca espessa e a libertação de sementes pelas pinhas após o incêndio (SILVA, 2007).

Exportação de nutrientes por escorrência superficial e usos do solo

Sendo parte do ciclo hidrológico, a escorrência superficial pode ser um mecanismo importante no transporte de nutrientes dos solos para os cursos de água (SHARPLEY AN et al., 1989). Esta acontece quando a intensidade de entrada de água excede a capacidade de infiltração do solo, de modo que a água não se infiltra após preencher as micro-depressões do terreno, escorrendo superficialmente (LENCASTRE et al., 2006).

O ciclo hidrológico e o ciclo de nutrientes podem sofrer alterações devido às atividades humanas, nomeadamente as mudanças nos usos do solo, as mudanças nas técnicas de manejo agrícola e a urbanização. No estudo do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas são de grande importância as características fisiográficas, como a geometria, sistema de drenagem, relevo, geologia, solos e vegetação (LENCASTRE et al., 2006).

Existem diversos trabalhos com diferentes abordagens no que respeita à exportação de nutrientes. A maioria dos trabalhos desenvolvidos centra-se em áreas agrícolas, onde a exportação de nutrientes por escorrência superficial conduziu a preocupações como a deterioração da qualidade da água superficial (SMITH et al., 1993). Estudos desenvolvidos numa bacia agrícola no sudoeste da China (CHEN et al., 2011) revelaram que a exportação de azoto tem um comportamento sazonal e que depende fortemente da hidrologia e das atividades antropogénicas nesses locais. Outros estudos, em bacias agrícolas no Chile e no sul da Finlândia (OYARZÚN et al., 2003, VUORENMAA et al., 2002), mostraram maiores perdas de azoto e fósforo em áreas agrícolas do que em áreas florestais. No Reino Unido, foi estudada a exportação de azoto e fósforo em terras aráveis após a aplicação de adubos orgânicos, tendo-se concluído que a exportação destes nutrientes aumenta com a aplicação de adubos orgânicos, e que a exportação destes é menos acentuada via escoamento subterrâneo do que via superficial (SMITH et al., 2001a, SMITH et al., 2001b). BECHMANN et al. (2008) estudaram a exportação de azoto e fósforo nas suas formas totais e sólidos suspensos em bacias agrícolas da Noruega. Os resultados indicaram diferenças acentuadas na exportação de nutrientes e sólidos suspensos nas diferentes bacias hidrográficas, apresentando grande variabilidade anual, sendo as maiores perdas de azoto total (NT), fósforo total (PT) e sólidos suspensos totais (SST) registadas nas bacias onde o uso do solo predominante era o cultivo de cereais. COX et al. (2012) estudaram a exportação de SST, NT, PT e carbono orgânico total (COT) em três sub-bacias no sul da Austrália com diferentes usos do solo (pomares de maçã e de cerejas e vinhas) durante o período de três anos. Os resultados registaram exportações mais acentuadas de SST, NT, PT e COT nos pomares de cerejas. Também na Austrália, HOLLINGER et al. (2001), monitorizaram durante dois anos as perdas por escorrência superficial de sedimentos, azoto e fósforo de diversas culturas (alface, espinafre, pimentão, repolho e pepino), em que o estrume das galinhas foi o principal fertilizante, complementado com nitrato de amónio. As maiores perdas de sedimentos e nutrientes foram registadas nos meses de verão, sendo a erosão do solo o principal mecanismo de perdas de fósforo. As maiores concentrações de azoto ocorreram após a aplicação de estrume e durante o período de pousio, demonstrando a insustentabilidade ambiental das práticas de adubação tradicionais na região de Sydney.

Na região de Alt Penedès, nordeste de Espanha, realizou-se um estudo sobre as perdas de azoto e fósforo por escorrência superficial numa área vinhateira e durante o período de 2000/01. Os resultados obtidos sugeriram que as maiores perdas de sedimentos e

nutrientes estão associadas a eventos erosivos (RAMOS et al., 2006). VAGSTAD et al. (2000) monitorizaram, durante o período 1994-1997, quatro bacias na Estónia e Letónia, duas bacias dedicadas à produção de cereais e duas dedicadas à produção de animais com aplicação de estrume como adubo orgânico. As perdas de azoto e fósforo por processos de lixiviação e por escorrência superficial nessas bacias variaram consideravelmente consoante os usos do solo e as práticas agrícolas, sendo mais acentuadas nas bacias com produção animal, apesar de numa dessas bacias essa produção animal ter terminado entre os anos 1991 e 1992. Os resultados mostram que as contribuições agrícolas para a carga de nutrientes do Golfo de Riga são extremamente complexas. As perdas de sedimentos e nutrientes de sub-bacias pertencentes à bacia do rio Burdekin, na Austrália, e resultantes da gestão de pastoreio extensiva foram também estudadas (O'REAGAN et al., 2005), demonstrando que as perdas de sedimentos e nutrientes representam uma grande ameaça para a qualidade da água da Grande Barreira de Corais. Neste estudo, as perdas de solo e de nutrientes revelaram-se relativamente baixas devido à combinação de boas coberturas, baixo declive e baixa intensidade de precipitação, mas foram encontradas diferenças consideráveis nas perdas de sedimentos e nutrientes nas diferentes bacias, explicadas por fatores naturais como o clima, topografia, geomorfologia, geologia, tipo de solo e tipo de cobertura vegetal.

No estudo desenvolvido por RODRÍGUEZ-BLANCO et al. (2009), numa bacia agroflorestal situada na Galiza, observou-se que a exportação de nutrientes foi baixa durante o escoamento basal, aumentando significativamente durante os eventos de precipitação para o fósforo particulado. Desse estudo concluiu-se ainda que o nitrato apresentou variação sazonal e o escoamento superficial foi a principal via de transporte de fósforo particulado, sendo o escoamento subterrâneo importante na exportação de fósforo dissolvido e de nitrato. OLLESCH et al. (2008) estudaram a geração de escorrência e a exportação de sedimentos e nutrientes numa bacia florestal a sul de Moscovo (Rússia), sendo estes processos dominados por situações de degelo na estação de primavera. THOMAS et al. (2000b), ao estudarem, no centro norte de Portugal, a exportação de solutos em florestas de *Eucalyptus globulus* Labill. e *Pinus pinaster* Aiton ardidas e não ardidas, à escala de parcela, verificaram que as perdas de solutos aumentaram entre uma a duas ordens de magnitude para ambas as florestas nos primeiros 3 anos pós-fogo. Constataram ainda que esse aumento deveu-se ao acréscimo da disponibilidade de nutrientes e ao escoamento superficial pós-fogo. As maiores perdas registaram-se na floresta de eucalipto, sendo o fósforo o nutriente menos mobilizado.

Noutro estudo, THOMAS et al. (2000a) debruçaram-se, na mesma região, sobre o efeito da manta morta na escorrência superficial e exportação de nutrientes em florestas pós-fogo e concluíram que a mesma foi eficaz na redução da escorrência superficial e na exportação de nutrientes nas florestas de eucalipto, enquanto nas florestas de pinheiro foram as agulhas as mais eficazes na diminuição da escorrência superficial e exportação de nutrientes. Aos mesmos resultados chegaram CORTEZ et al. (1998), num estudo desenvolvido no centro de Portugal referente a florestas de *Eucalyptus globulus*.

Estudos também realizados na região centro norte de Portugal (FERREIRA et al., 2005) revelaram que nos primeiros quatro meses após incêndio, a exportação de nutrientes foi mais rápida e generalizada. Após esse período, os picos de nutrientes surgiram em resposta a eventos de precipitação. Ainda na mesma região, COELHO et al. (2004) constataram que as taxas de erosão e perdas de nutrientes dependiam principalmente do transporte associado aos processos hidrológicos e do material disponível para o transporte. FERNÁNDEZ et al. (2011) verificaram, numa bacia da Galiza, que no primeiro ano pós-fogo, a exportação de nutrientes aumentou significativamente, diminuindo no ano seguinte, embora apresentando valores maiores do que no período pré-fogo.

A influência das técnicas de conservação de solos na exportação de sedimentos e nutrientes ou as diferentes práticas florestais foram também objeto de diversos estudos. Durante o período de 2009/10, LIU et al. (2012) estudaram o efeito da aplicação de palha no solo sobre a escorrência superficial e consequente exportação de sedimentos e nutrientes, numa bacia de citrinos na China, Xiaofuling. Deste estudo concluiu-se que a aplicação de palha no solo reduz a escorrência superficial e consequentemente a exportação de sedimentos e nutrientes. MERINO et al. (2005) estudaram a exportação de nutrientes sob regimes diferentes de práticas florestais em florestas comerciais de crescimento rápido no sul da Europa e chegaram à conclusão que operações como a recolha de madeira aumentaram as taxas de exportação de nutrientes, sendo a aplicação de fertilizantes uma solução para o retorno de nutrientes ao solo. KREUTZWEISER et al. (2008) estudaram também os impactos dos processos de movimentação de madeira em florestas da América do Norte e chegaram à conclusão que esses processos aumentaram a disponibilidade de nutrientes no solo, seguida de exportação de nutrientes por processos de lixiviação para águas recetoras. SMITH et al. (2012) constataram, num estudo desenvolvido na Austrália, que as operações de recuperação de madeira pós-fogo florestal representaram um importante impacto adicional na exportação de sedimentos e nutrientes nestas áreas.

A poluição e exportação de nutrientes e sedimentos em cidades têm sido também objeto de estudo. Na cidade de Xiamen (China), WEI et al. (2010). estudaram a qualidade da água proveniente da escorrência superficial em diferentes partes da cidade (estacionamentos, estradas, telhados e relvado). As concentrações de diversos contaminantes (matéria orgânica, nutrientes e metais pesados) foram significativamente maiores nas escorrências superficiais de estacionamento e de estradas relativamente às escorrência superficiais de telhados e relvados.

O futuro encaminha-nos para a construção de modelos que pretendem quantificar o transporte, retenção e transformação de nutrientes utilizando equações empíricas que descrevem o sistema físico com o objetivo de avaliar a quantidade e qualidade da água (CHERRY et al., 2008). O AERC Export Coefficient Modelling system JOHNS (1996) tem sido um dos mais utilizados, sendo um modelo empírico baseado nos coeficientes de exportação dos diferentes usos do solo, com o intuito de estimar a carga de nutrientes (azoto e fósforo) que alcançam as águas superficiais. Exemplos de outros modelos utilizados para o azoto e o fósforo e citados por CHERRY et al. (2008) são NGAUGE (BROWN et al., 2005), INCA (WADE et al., 2002, WHITEHEAD et al., 1998), NIPPER (LORD et al., 2007), Phosphorus Indicator Tool (PIT) (HEATHWAITE et al., 2003), PSYCHIC (DAVISON et al., 2008) ou SWAT (ARNOLD et al., 1998). Outro modelo, NEWS, estima a exportação global de nutrientes em bacias hidrográficas e tem a exportação de nutrientes como função do uso do solo, entradas de nutrientes, hidrologia e outros fatores à escala regional e global (SEITZINGER et al., 2005).

CAPÍTULO 2 - EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM DIFERENTES USOS DO SOLO

Exportações de Nutrientes em Plantações de Eucalipto e de Pinheiro

Machado, HF¹, Santos, J², Bernard-Jannin L², Rial-Rivas ME², Cerqueira, MMA²,
Keizer JJ²

¹ Departamento do Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro

² CESAM – Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Departamento do Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro

Resumo

As perdas de azoto e fósforo totais, por escorrência e às escalas de parcela e bacia, foram estudadas durante o ano hidrológico 2011/12 em plantações de *Eucalyptus globulus* e *Pinus pinaster* em duas micro bacias pertencentes à bacia hidrográfica do rio Vouga (centro de Portugal). Durante o período de estudo, foram recolhidas e analisadas 64 amostras de escorrência superficial à escala de parcela (32 em pinhal e 32 em eucaliptal), e 122 amostras de escoamento nos ribeiros, 72 delas durante os picos de cheia. As determinações de azoto e fósforo totais foram realizadas por um método colorimétrico integrado num sistema por injeção em fluxo. Os resultados mostraram diferenças na exportação de nutrientes nos dois tipos de uso do solo, tanto à escala de bacia como à escala de parcela, estando claramente condicionadas pelas diferenças na geração de escorrência nos dois tipos de floresta. As estimativas de exportação de fósforo total para eucaliptal foram de 0,032 kg/ha-ano e de 0,063 kg/ha-ano para o pinhal. No entanto, para o azoto total as exportações foram mais elevadas com 0,467 kg/ha-ano para o eucaliptal e de 1,457 kg/ha-ano para o pinhal.

Palavras chave: Azoto total, fósforo total, eucalipto, pinheiro, exportação de nutrientes.

Abstract

Total nitrogen and phosphorus losses in surface runoff at plot scale and in total streamflow at catchment scale were studied during the hydrological year 2011/12 in *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* stands in two micro-catchments belonging to Vouga river basin (north-central Portugal). During the study period were collected and analyzed a total of 64 samples of surface runoff (32 in pine and 32 in eucalypt) and 122 total streamflow samples at catchment scale, 72 during the peak flow events. Total nitrogen and phosphorus determinations were done using a colorimetric method and integrated in a

flow injection system. The results showed differences in nutrient exports from both land uses at plot and catchment scale that can be related to the differences in runoff and streamflow generation in both types of forest. The estimated total phosphorus exports were 0.032 kg/ha-year for eucalypt and 0.063 kg/ha-year for pine. Exports of total nitrogen were higher 0.467 kg/ha-year for eucalypt and 1.457 kg/ha-year for pine.

Keywords: total nitrogen, total phosphorus, eucalypt, pine, nutrient export.

Introdução

Ao longo dos últimos 50 anos, a atividade humana tem vindo a alterar os ciclos biogeoquímicos dos nutrientes e carbono. Como resultado destas alterações, ocorrem mobilizações maciças de nutrientes bioativos no solo, como o azoto e fósforo, assim como alterações significativas no ciclo hidrológico global (SEITZINGER et al., 2005).

Os usos do solo na região Centro-Norte de Portugal são maioritariamente plantações comerciais de *Eucalyptus ssp* (cerca de 23% da área florestal) e *Pinus ssp* (cerca de 30% da área florestal) (IFN5, 2006). Os estudos sobre a exportação de nutrientes em Portugal são, usualmente, focados em áreas agrícolas ou em parte do ciclo bioquímico (NUNES et al., 2007, PEREIRA et al., 2009). Os poucos estudos já realizados em áreas florestais, no centro de Portugal, incidiram sobre os fluxos de nutrientes em bacias hidrográficas após incêndios, tendo sido desenvolvidos por THOMAS et al. (1999b, 2000a, 2000b) e FERREIRA et al. (2005). Como tal, existe uma lacuna de informação no que respeita à exportação de nutrientes em áreas com este tipo de uso do solo.

Entre os estudos desenvolvidos noutras partes do mundo, existem diversos trabalhos com diferentes abordagens no que respeita ao estudo da exportação de nutrientes, a maioria deles desenvolvidos em áreas agrícolas (SMITH et al., 1993). Variados estudos concluem que a exportação de nutrientes depende fortemente da hidrologia e das atividades antropogénicas (BECHMANN et al., 2008, CHEN et al., 2011, COX et al., 2012, HOLLINGER et al., 2001, SMITH et al., 2001a, SMITH et al., 2001b, WEI et al., 2010), existindo um claro comportamento sazonal (CHEN et al., 2011, HOLLINGER et al., 2001, RODRÍGUEZ-BLANCO et al., 2009).

A construção de modelos que pretendem quantificar o transporte, retenção e transformação de nutrientes, utilizando equações empíricas que descrevem o sistema físico com o objetivo de avaliar a quantidade e qualidade da água, está também muito

estendida (CHERRY et al., 2008). O AERC *Export Coefficient Modelling system* (JOHNES, 1996) tem sido um dos mais utilizados, sendo um modelo empírico baseado nos coeficientes de exportação dos diferentes usos do solo, com o intuito de estimar a carga de nutrientes (azoto e fósforo) que alcançam as águas superficiais, mas não tem sido o único modelo de cálculo dos coeficientes de exportação, existindo inúmeros estudos sobre o tema (CATT et al., 1998, COOKE, 1976, FERRIER et al., 1996, HAYGARTH et al., 1997, JOHNES et al., 1994, KOLENBRANDER, 1972, LOEHR et al., 1989, MARSDEN et al., 1995, MCFARLAND et al., 2001, MCGUCKIN et al., 1999, MENZEL et al., 1978, NRA., 1996, OCDE, 1972, OVERCASH et al., 1983, RECKHOW et al., 1980, TIMMONS et al., 1977). Exemplos de outros modelos utilizados para o azoto e o fósforo (CHERRY et al., 2008) são: NGAUGE (BROWN et al., 2005), INCA (WADE et al., 2002, WHITEHEAD et al., 1998), NIPPER (LORD et al., 2007), *Phosphorus Indicator Tool* (PIT) (HEATHWAITE et al., 2003), PSYCHIC (DAVISON et al., 2008) ou SWAT (ARNOLD et al., 1998). Outro modelo, o NEWS, estima a exportação global de nutrientes em bacias hidrográficas e tem a exportação de nutrientes como função do uso do solo, entradas de nutrientes, hidrologia e outros fatores à escala regional e global (SEITZINGER et al., 2005).

Com o presente trabalho, pretende-se colmatar essa lacuna de conhecimento, quantificando a exportação de azoto e fósforo totais em florestas comerciais de eucalipto e pinheiro não ardidas.

Área de estudo

A área de estudo situa-se na Serra do Caramulo, concelho de Águeda, distrito de Aveiro, na região Centro-Norte de Portugal. Esta encontra-se integrada na bacia hidrográfica do rio Vouga (40°15'N - 40°57'N e 7°33'O - 8°48'O) e abrange os rios Águeda (principal afluente do rio Vouga) e Alfusqueiro (afluente do rio Águeda) (Figura 4). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área de estudo apresenta características mediterrânicas com influência oceânica, sendo mesotérmico (temperado) húmido, a estação seca é no verão, o qual é moderadamente quente mas extenso (DRA-CENTRO, 2002). A temperatura do ar média diária, para o período de 1931-2008, registada na estação meteorológica mais próxima (Barragem de Castelo de Burgães, 306 m de altitude, localizada a cerca de 30 km da área de estudo) é de 14,2 °C (SNIRH, 2012). A precipitação média anual, para o mesmo período, registada na estação pluviométrica

mais próxima (Estação de Campia, 448 m de altitude, localizada a cerca de 12 km da área de estudo) é de 1840 mm (SNIRH, 2012).

O estudo foi realizado em duas bacias hidrográficas de pequenas dimensões, em florestas de pinhal (*Pinus pinaster* Aiton) e eucaliptal (*Eucalyptus globulus* Labill.). Os últimos incêndios nesta área ocorreram há mais de vinte anos, em 1986 (na floresta de eucaliptal) e 1991 (na floresta de pinhal).

A bacia de pinhal, Lourizela, apresenta uma área de 0,62 km² (cerca de 60% de pinhal e 40% de eucaliptal), enquanto a bacia de eucaliptal, Serra de Cima, apresenta uma área de 0,52 km² (67% de eucaliptal, 29% de pinhal e *Acácia spp* e 4% de plantações jovens de eucaliptos e terraços) (Anexo A).

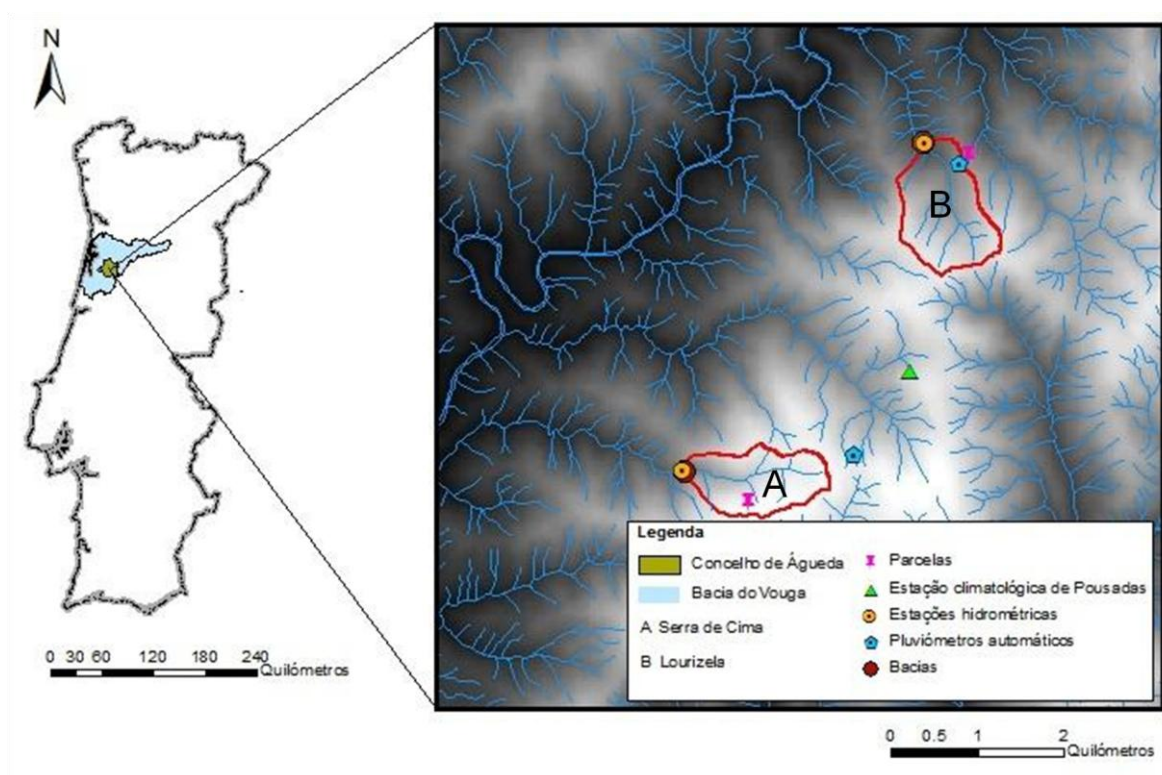


Figura 4 – Localização da área de estudo.

Nos povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. é possível visualizar a presença de tojo (*Ulex europeus*), urzes (*Calluna vulgaris* e *Erica arbórea*), carqueja (*Chamaespartium tridentatum*) e uma camada de manta morta no solo (*litter*). Nos povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton verifica-se a presença de *Acacia ssp*, urze (*Calluna vulgaris*), fetos (*Pteridium aquilinum*) e uma camada de manta morta no solo. Os solos da área de estudo

são maioritariamente Cambissolos húmicos (sobre xisto e rochas eruptivas), dístricos (sobre xistos e quartzitos do Ordovícico) e crómicos (Anexo A).

Materiais e métodos

Desenho experimental

A exportação de nutrientes foi estudada à escala de bacia, com amostragens semanais do escoamento basal nas duas bacias e dos picos de cheia na bacia de Serra de Cima (eucaliptal), assim como à escala de parcela, nos dois usos do solo, desde o dia 28 de outubro de 2011 até ao dia 4 de maio de 2012.

Foram estudadas seis parcelas fechadas de escoância superficial de 16 m² cada, três situadas nas plantações de eucaliptal, com declive entre 2° e 16° (Figura 5a), e as outras três nas de pinhal, com declives entre 17° e 21° (Figura 5b). A escoância superficial gerada nas parcelas passa por um balde basculante que permite o registo do volume escoado ao longo do tempo, culminando em tanques que permitem a recolha das amostras. As amostragens foram realizadas conforme a geração de escoamento, com recolha semanal das amostras. A humidade do solo foi também medida em contínuo a duas profundidades (2,5 cm e 7,5 cm) nos dois tipos de solo e nas mesmas encostas das parcelas de escoância superficial.

As principais características das encostas onde se encontram as parcelas de escoância superficial estudadas, para os dois tipos de floresta, estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características das encostas das bacias estudadas.

| | Encosta de eucalipto | Encosta de pinhal |
|--|-----------------------|---------------------------|
| Coordenadas | 40°36'28"N 08°19'57"O | 40°38'8.98"N 8°18'36.01"O |
| Orientação | NN | NN |
| Altitude (m) | 475 | 345 |
| Declive | 2°-16° | 17°-21° |
| Densidade aparente do solo (g/cm³) | 0,87 | 0,99 |
| Argila (%) | 19-24 | 12 |
| Limo (%) | 47-58 | 45 |
| Areia (%) | 22-29 | 43 |
| Matéria orgânica (%) | 12 | 7,4 |
| Pedras (%) | 39 | 56,2 |

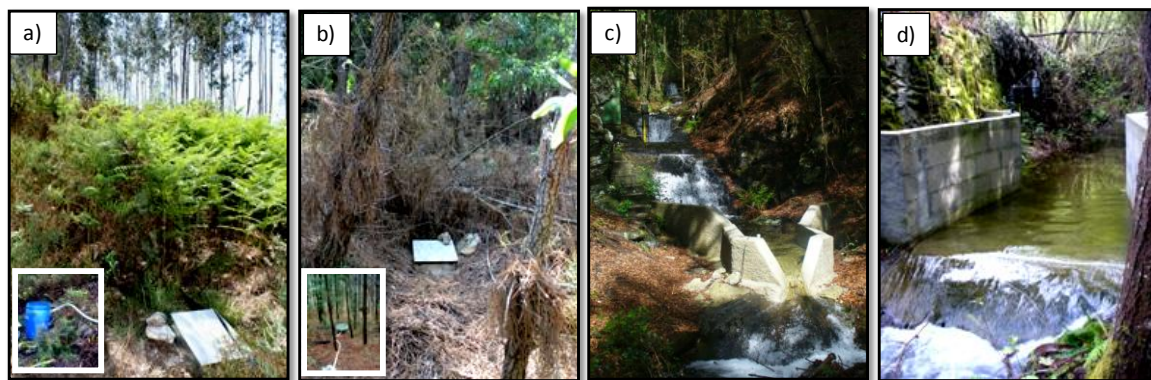


Figura 5 – Parcelas da área de estudo. a) Eucaliptal; b) Pinhal. Estruturas hidráulicas da área de estudo. c) Serra de Cima; d) Lourizela.

As bacias estudadas apresentam sistemas de drenagem intermitentes (LENCASTRE et al., 2006), em geral escoam durante as estações húmidas e secam nas de estiagem. As principais características das micro-bacias estudadas são as que se observam na Tabela 2.

Tabela 2 – Características geométricas, do sistema de drenagem, do relevo e da ocupação do solo das bacias em estudo.

| | Lourizela | Serra de Cima |
|---|--------------|---------------|
| Área de drenagem (km ²) | 0,65 | 0,52 |
| Índice de Gravelius, K _c | 1,42 | 1,52 |
| Factor forma, K _f | 0,51 | 0,45 |
| Constância de escoamento | Intermitente | Intermitente |
| Ordem dos cursos de água | 2 | 2 |
| Densidade de drenagem, λ | 4,89 | 4,37 |
| Percurso médio do escoamento superficial, $\overline{P_s}$ (km) | 0,05 | 0,06 |
| Altitude média, \overline{Z} (m) | 363 | 431 |
| Altitude máxima (m) | 455 | 486 |
| Altitude mínima (m) | 200 | 277 |
| Declive médio (°) | 32 | 28 |
| Inclinação média do leito | 0,21 | 0,18 |
| % Plantações de pinhal | 60 | 29 |
| % Plantações de eucaliptal | 40 | 67 |
| % Plantações jovens e terraços de eucaliptal | 0 | 4 |

As amostragens, à escala de bacia, realizaram-se nas estações hidrométricas das bacias de Serra de Cima (Figura 5c) e Lourizela (Figura 5d). Para o efeito, usou-se um amostrador automático em Serra de Cima, o qual permite a recolha de amostras durante a resposta das bacias aos eventos de precipitação, seleccionando amostras em diferentes patamares de caudal. Recorreu-se, ainda, a amostragens manuais em ambas as bacias e com uma frequência semanalmente.

O registo da precipitação total e da sua intensidade na área de estudo foi efetuado na estação meteorológica de Pousadas.

Recolha de amostras e análises laboratoriais

Durante o período de estudo foram recolhidas e analisadas 64 amostras de escorrência superficial nas parcelas (32 em pinhal e 32 em eucaliptal), 72 amostras durante os picos de cheia na bacia de Serra de Cima e 42 amostras de escoamento basal (21 analisadas em Serra de Cima e 21 em Lourizela).

As amostras de água foram recolhidas diretamente em garrafas de polietileno com capacidade de 0,5 L. Os parâmetros medidos foram a temperatura, pH, condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST), azoto total (NT) e fósforo total (PT). A determinação dos SST seguiu o procedimento normalizado constante em APHA (1999). O NT (gama de deteção 0,1-5 mg/l N) e PT (gama de deteção 0,01-1 mg/l PO₄-P) foram determinados seguindo os métodos mais recentes aprovados pela ISO (ISO 15681-1; ISO 11905 e 13395), recorrendo-se para o efeito a um sistema de análise por injeção em fluxo da FOSS (FIAstar 5000 *Analyser*).

A quantidade de nutrientes e de sedimentos transportada pela escorrência (m_i) foi calculada com base nas seguintes equações:

$$m_i \left[\frac{g}{ha} \right] = \frac{C_i \left[\frac{g}{L} \right] \times V_{esc} [L]}{A_{parcela} [ha]} \quad (1)$$

$$m_i \left[\frac{g}{ha} \right] = C_i \left[\frac{g}{L} \right] \times Q [mm] \times \frac{1}{10^{-4}} \quad (2)$$

Em que C_i representa a concentração de nutrientes ou de sedimentos nas amostras de escorrência, V_{esc} representa o volume de escorrência superficial, $A_{parcela}$ representa a área de cada parcela e Q representa o caudal horário em milímetros registado nas bacias no momento da recolha da amostra.

Neste trabalho recorreu-se ao uso de um filtro digital que permite determinar a contribuição do caudal de base, ou seja, da água subterrânea no caudal de um curso de água. A determinação do caudal de base assenta no seguinte balanço mássico:

$$q_t = a \times q_{t-1} + \left(\frac{1+a}{2} \right) \times (Q_t - Q_{t-1}) \quad (3)$$

$$b_t = Q_t - q_t \quad (4)$$

Em que q_t representa a escurrência superficial (L/s), a é uma constante compreendida entre 0,9-0,995, Q_t representa o caudal total (L/s) e b_t o caudal de base (L/s).

Análises estatísticas

A normalidade dos dados de escurrência, nutrientes e sedimentos obtidos foi verificada com o teste de Shapiro-Wilk. Para os dados com distribuições significativamente diferentes de uma distribuição normal, foi empregue a medida de correlação não-paramétrica – coeficiente de correlação de Spearman (r_s) para aferir as tendências espaciais e temporais nos dados. Este coeficiente assume valores entre -1 e 1, em que:

- $r_s = -1$ - significa que as variáveis têm uma relação negativa forte;
- $r_s = 1$ - significa que as variáveis têm uma relação positiva forte;
- $r_s = 0$ - significa que as variáveis não dependem uma da outra.

Para este estudo estatístico, recorreu-se ao programa computacional Sigmaplot.

Resultados e discussão

Exportação de nutrientes à escala de parcela

Valores globais de escurrência, nutrientes, sedimentos, condutividade e pH

Durante o período de amostragem, com início a 25/11/2011, os parâmetros medidos à escala de parcela foram: a escurrência, as perdas de nutrientes (NT e PT) e de SST, a CE e o pH (Figura 6). Os valores de escurrência, perdas de nutrientes e sedimentos são, em média, mais elevados para as parcelas de pinhal. No entanto, essa diferença é menos acentuada quando se analisa a mediana de cada parâmetro.

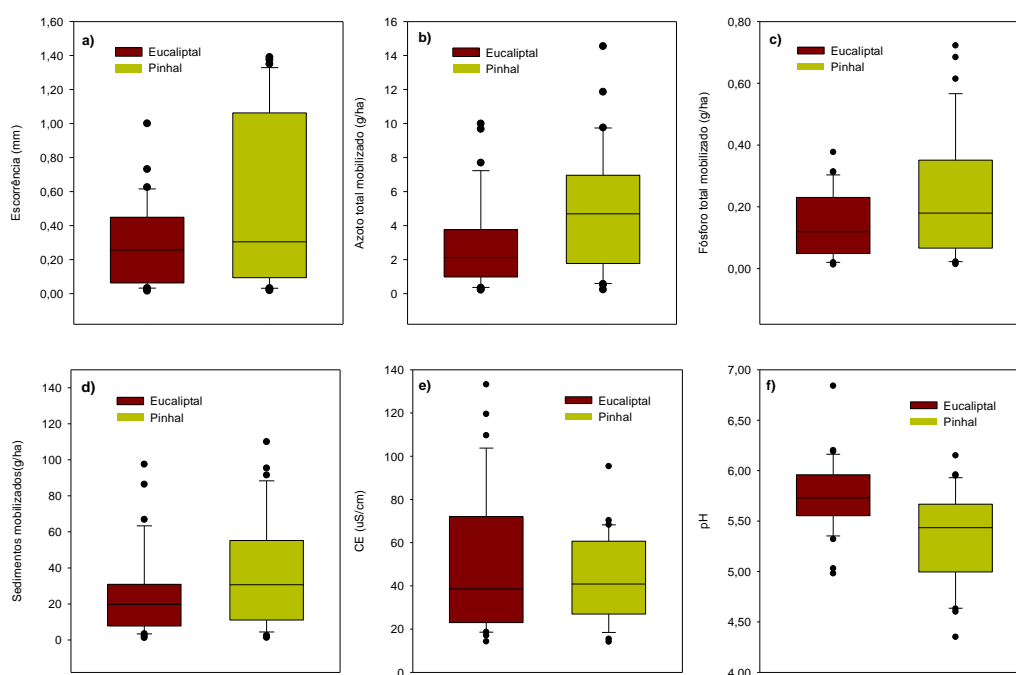


Figura 6 – Valores globais de escorrência, perdas de nutrientes e sedimentos, condutividade e pH nas parcelas estudadas.

Os valores de escorrência, para as parcelas de eucaliptal, oscilaram entre 0,02 mm, no início de dezembro de 2011, e 1 mm, a meio do mês de dezembro de 2011, com uma média de 0,29 mm e uma mediana de 0,26 mm para o período amostrado, enquanto nas parcelas de pinhal oscilaram entre de 0,02 mm, na mesma amostragem do início de dezembro de 2011, e 1,39 mm no mês de abril, com uma média de 0,53 mm e uma mediana de 0,31 mm para o período amostrado. As perdas de NT nas parcelas de eucaliptal oscilaram entre 0,22 e 9,99 g/ha (média de 2,84 g/ha e mediana de 2,12 g/ha), enquanto nas parcelas de pinhal variaram entre 0,23 e 14,55 g/ha (média de 4,79 g/ha e mediana de 4,70 g/ha). No caso do PT, nas parcelas de eucaliptal os valores exportados situaram-se entre 0,01 e 0,38 g/ha, com uma média de 0,14 g/ha e uma mediana de 0,12 g/ha, enquanto nas parcelas de pinhal situaram-se entre 0,01 e 0,72 g/ha, com uma média de 0,23 g/ha e uma mediana de 0,18 g/ha. Por último, as perdas de SST oscilaram entre 1,26 e 97,50 g/ha, com uma média de 25,90 g/ha e uma mediana de 19,72 g/ha nas parcelas de pinhal e 1,36 e 110 g/ha, com uma média de 36,12 g/ha e uma mediana de 30,62 g/ha nas parcelas de eucaliptal.

As quantidades de nutrientes e sedimentos mobilizadas durante o período de estudo foram sempre superiores nas parcelas de pinhal. O NT mobilizado nas parcelas de

eucaliptal foi de 30,41 g/ha e no pinhal de 51,24 g/ha, no caso do PT foi 1,50 e 2,42 g/ha e para os SST de 277,17 g/ha e 385,83 g/ha respectivamente.

Diferente foi o comportamento da CE e do pH, verificando-se uma a maior variabilidade na CE das amostras de eucaliptal do que nas de pinhal. Os valores de CE oscilaram entre 14,15 e 113,19 $\mu\text{S/cm}$, com uma média de 50,29 $\mu\text{S/cm}$ e uma mediana de 38,63 $\mu\text{S/cm}$ para as parcelas de eucaliptal e 14,10 e 95,32 $\mu\text{S/cm}$, com uma média de 43,08 $\mu\text{S/cm}$ e uma mediana de 40,86 $\mu\text{S/cm}$ para as parcelas de pinhal. O pH variou entre 4,98 e 6,84, com uma média de 5,76 e uma mediana de 5,73 para as parcelas de eucaliptal e 4,35 e 6,15, com uma média de 5,32 e uma mediana de 5,44 para as parcelas de pinhal.

Ao longo do período de estudo, nas parcelas de eucaliptal, as concentrações de nutrientes e sedimentos oscilaram entre 0,34 (para uma $V_{\text{esc}}=0,34$ mm) e 9,84 mg/L de NT (para um $V_{\text{esc}}=0,06$ mm), 20,72 (para um $V_{\text{esc}}=0,53$ mm) e 215,89 $\mu\text{g/L}$ de PT (para um $V_{\text{esc}}=0,06$ mm) e 2,57 (para um $V_{\text{esc}}=0,58$ mm) e 49,33 mg/L de SST (para um $V_{\text{esc}}=0,18$ mm). Para as parcelas de pinhal as gamas de concentrações foram de 0,37 (para um $V_{\text{esc}}=1,35$ mm) e 4,44 mg/L de NT ($V_{\text{esc}}=0,22$ mm), 22,25 (para um $V_{\text{esc}}=0,34$ mm) e 157,81 $\mu\text{g/L}$ de PT (para um $V_{\text{esc}}=0,08$ mm) e 3,43 (para um $V_{\text{esc}}=1,25$ mm) e 36,40 mg/L de SST (para um $V_{\text{esc}}=0,03$ mm). A mediana desses valores foi superior nas parcelas de pinhal, exceto para os sedimentos.

Evolução temporal da mobilização de nutrientes e escurência superficial

Na Figura 7 encontra-se representada a evolução temporal, para o período de estudo, da mobilização de nutrientes e escurência em ambas as parcelas. Para ambos os usos do solo, verifica-se que, ao longo do período de estudo, as maiores mobilizações de nutrientes ocorreram para volumes de escurência mais elevados e após um período de seca.

À exceção da amostragem de março (7/3/2012), as mobilizações de PT foram superiores nas parcelas de pinhal. Analisando o NT, verifica-se que este teve um comportamento semelhante ao PT até à amostragem do dia 20 de janeiro. Após um período sem chuva, e para a amostragem de março, as perdas de NT aumentaram. No entanto, a partir da amostragem de 19 de abril, as perdas de NT diminuíram, apesar da escurência do dia 26

de abril ser mais elevada. No geral, as perdas de NT foram mais elevadas nas parcelas de pinhal. O NT foi o nutriente mais mobilizado em ambas as parcelas.

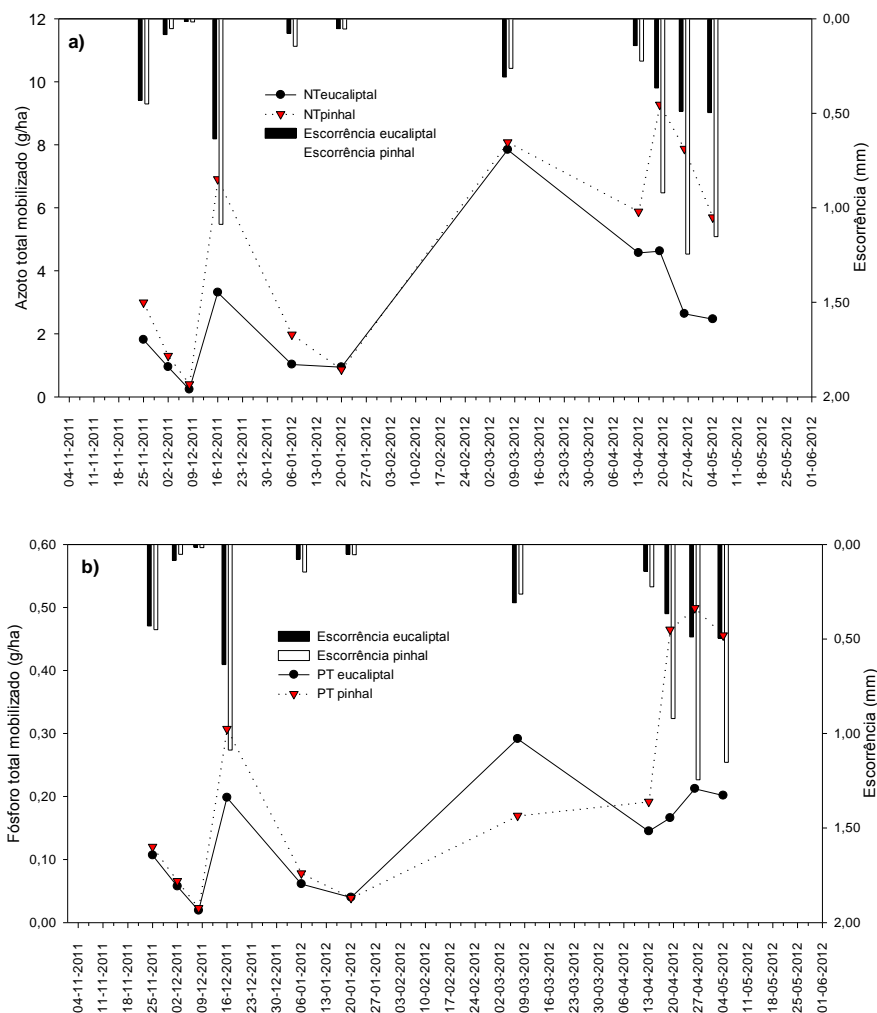


Figura 7 – Evolução temporal da exportação de NT (a) e PT (b) e da escoerência superficial para os dois usos do solo.

Analisando o comportamento das perdas de sedimentos ao longo do período de estudo e para ambos os usos do solo (Figura 8), verifica-se que as perdas de PT seguem o comportamento das perdas de sedimentos, o que sugere que este nutriente se encontra predominantemente na forma particulada (RODRÍGUEZ-BLANCO et al., 2009).

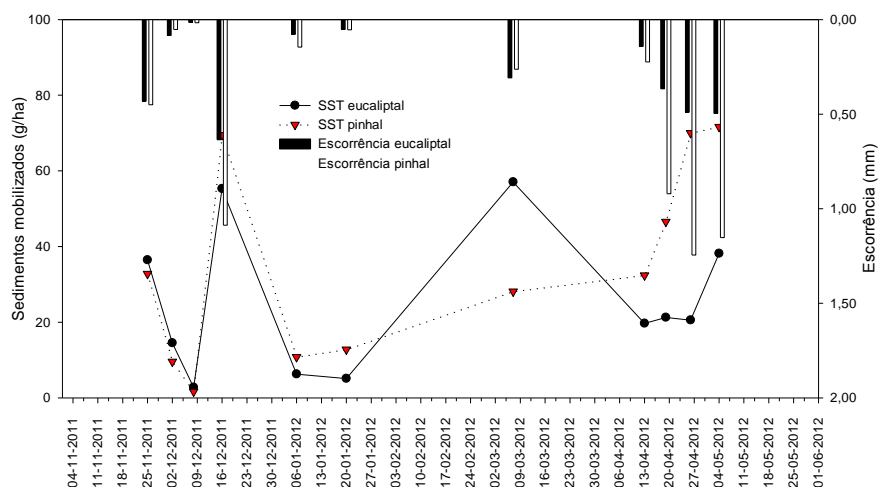


Figura 8 – Evolução temporal das perdas de sedimentos ao longo do período de estudo.

Fazendo uma análise da evolução temporal da concentração de nutrientes (Figura 9), verifica-se que esta tem a tendência para se comportar inversamente à ocorrência. Assim, o aumento da concentração de nutrientes, aliado à diminuição da ocorrência, corresponde, quase sempre, a uma diminuição da exportação dos mesmos. No entanto, para a amostragem de 7/3/2012 verifica-se um aumento da concentração de PT nas parcelas de eucaliptal e de NT para ambas as parcelas que, se estende, neste último, até à amostragem de 13/4/2012 nas parcelas de eucaliptal. Isto deve-se, possivelmente, ao facto da existência de um período sem chuva que contribui para uma maior disponibilidade de nutrientes no solo. Verifica-se ainda que o facto da exportação de NT ter diminuído nas últimas três amostragens, apesar das elevadas ocorrências, pode estar associado ao facto da disponibilidade do mesmo ter diminuído nesse período.

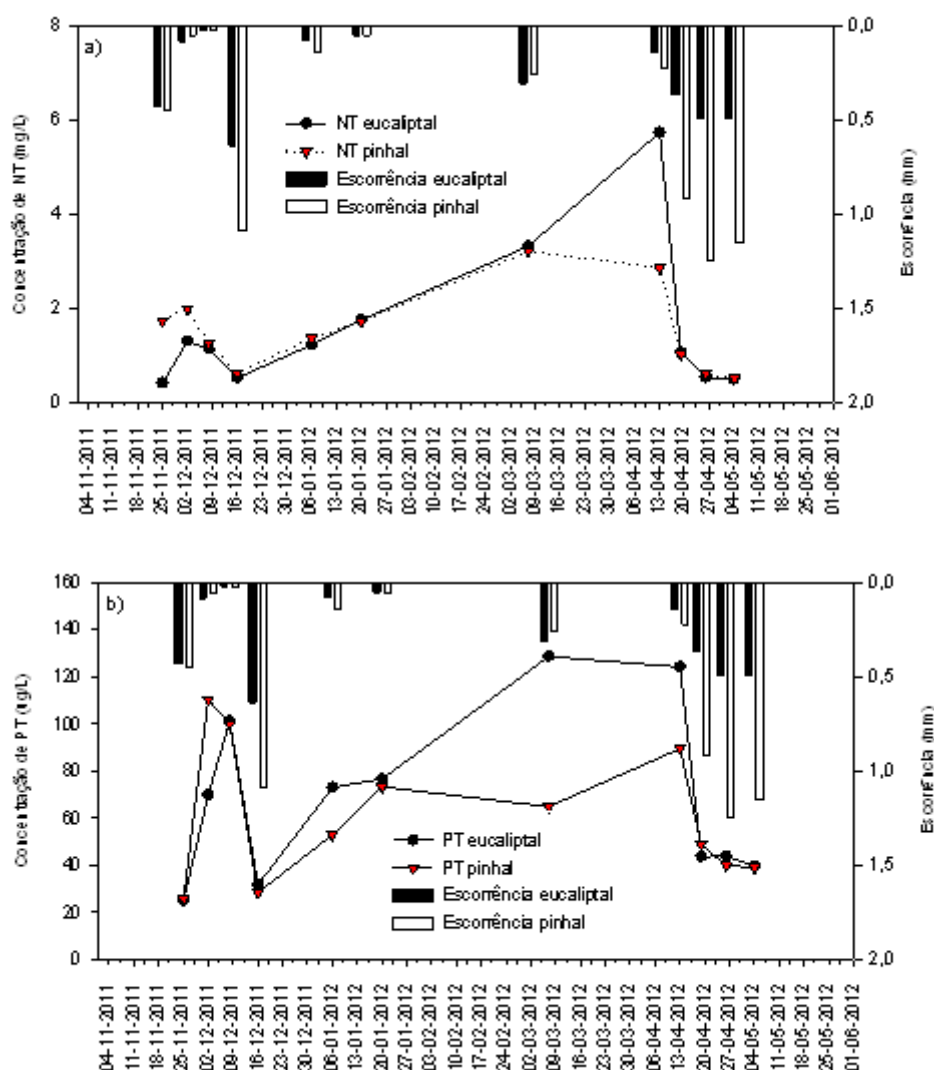


Figura 9 – Evolução temporal das concentrações de nutrientes ao longo do período de estudo.

Evolução temporal da mobilização de nutrientes e humidade do solo

Ao longo do período de estudo, observaram-se diferenças nos padrões de humedificação do solo em ambos os tipos de floresta. A diminuição da humidade do solo (VWC) na floresta de eucalipto evoluiu mais rapidamente do que na de pinhal, alcançando um mínimo no mês de abril. Após o começo das chuvas em abril, e com a humidade ultrapassar o patamar do 20%VWC verificou-se o comportamento inverso, sendo a humedificação do solo mais rápida na floresta de pinhal.

A evolução temporal das perdas de nutrientes e da humidade do solo nas distintas amostragens encontra-se nas Figura 10a e Figura 10b. Nas parcelas de eucalipto

verificou-se que, nas três primeiras amostragens, as perdas de nutrientes se comportaram inversamente à humidade do solo, ou seja, as perdas de nutrientes diminuíram e a humidade do solo aumentou.

No entanto, para as mesmas amostragens no pinhal, a relação entre a exportação de nutrientes e a humidade do solo foi direta.

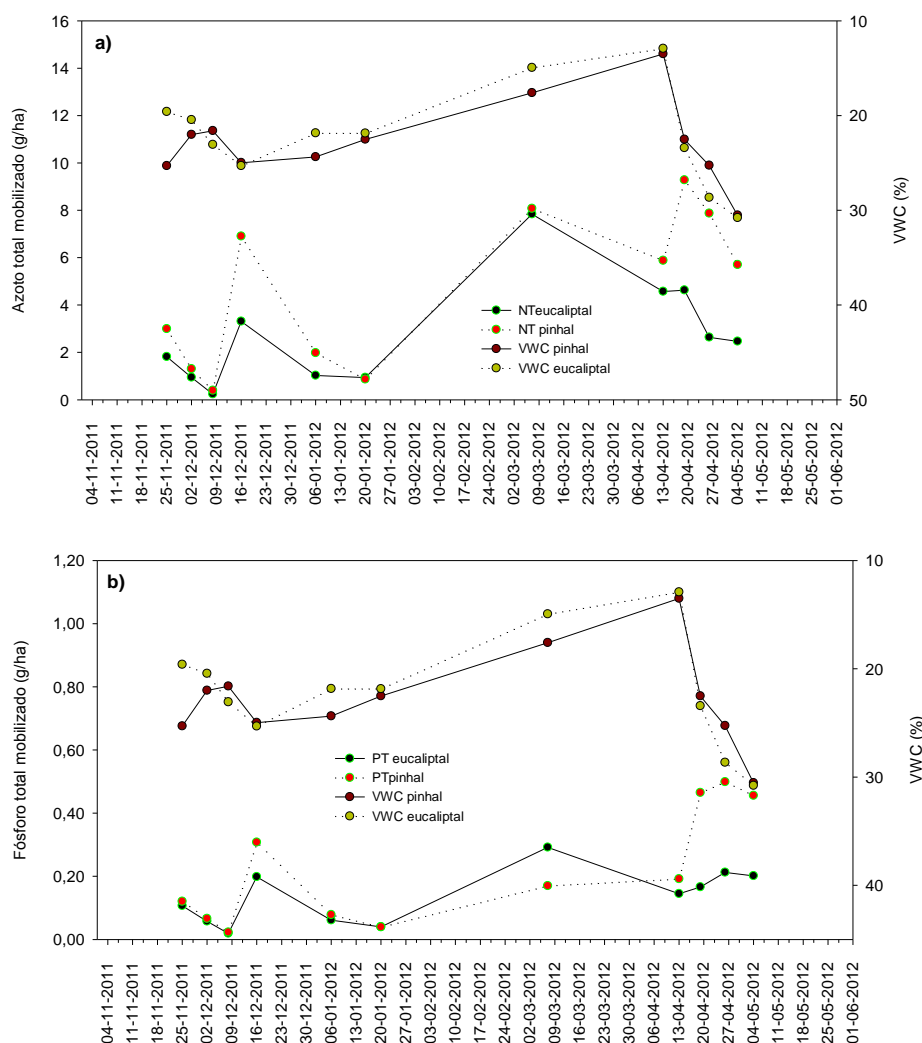


Figura 10 – Evolução temporal das perdas de NT e PT com humidade do solo antecedente nas parcelas durante o período de estudo.

Este comportamento da humidade do solo nas parcelas do eucaliptal foi também observado com antecedência nas parcelas do pinhal, num período anterior ao início das análises de nutrientes nestas parcelas. Duas explicações possíveis para este fenómeno são: o facto de os eucaliptos captarem mais água da superfície do solo do que os

pinheiros (LIMA et al., 1998, SOARES, 2006); as diferenças existentes no coberto dos dois usos do solo. No pinhal, a camada de manta morta é mais espessa, permitindo a conservação da humidade do solo. No eucaliptal, a manta morta é menos espessa; no entanto, a existência de mato proporciona o aumento da evaporação e da absorção de água. Na quarta amostragem aumentaram as perdas de nutrientes nos dois usos do solo, assim como a humidade do solo, que atingiu quase 25% nos dois casos. Na sétima amostragem, após período sem chuva, no qual a humidade do solo baixou consideravelmente, ocorreu um pico de exportação de nutrientes, sendo as quantidades de NT exportadas muito similares em ambos os usos do solo (8,08 g/ha no pinhal e 7,84 g/ha no eucaliptal). No caso do PT, ainda existindo um pico nesta amostragem, as quantidades exportadas nos dois usos do solo foram muito baixas, sendo o comportamento do PT contrário ao do NT, ou seja, a exportação deste nutriente foi superior no eucaliptal. Na oitava amostragem (13/4/12) verificou-se uma descida do teor de humidade do solo, atingindo os valores mínimos de todo o período de estudo (<15%VWC), acompanhada de uma diminuição das perdas de nutrientes. Posteriormente, a humidade do solo aumentou, atingindo cerca de 30% no último dia de amostragem. As perdas de NT aumentaram em ambos os usos do solo na amostragem de 19/4/2012, diminuindo após essa data. As perdas de PT aumentaram na amostragem de 19/4/2012, atingindo o pico máximo na amostragem do dia 26/4/2012 e diminuindo na última amostragem. Esse comportamento do PT pode estar relacionado com perdas de SST, as quais tiveram um comportamento muito semelhante (RODRÍGUEZ-BLANCO et al., 2009).

A análise dos resultados sugere um aumento da exportação de nutrientes sempre que exista disponibilidade dos mesmos para serem transportados, nomeadamente após um período prolongado sem chuva, devido a coeficientes de escorrência (C_{Esc}) elevados que podem ser devidos à saturação do solo e a precipitações elevadas (16/12/2011, 19/4/2012 a 4/5/2012) ou às características hidrofóbicas no solo. Por outro lado, a diminuição da exportação de nutrientes ligada a C_{Esc} baixos e precipitações de baixa intensidade pode estar associada a processos de infiltração (2/12/2011 e 8/12/2012) ou à exaustão dos nutrientes disponíveis para transporte.

Relações entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados

Na Tabela 3 encontra-se resumida a informação relativa (média das parcelas) às perdas de nutrientes, V_{esc} , precipitação total (P_{total}), C_{Esc} e intensidade máxima dos eventos chuvosos em 15 minutos ($I_{máx}$).

Verifica-se que as perdas de nutrientes aumentam, no geral, com o aumento dos volumes de escorrência amostrados, os quais, como seria de esperar, aumentam com o incremento da precipitação e sua intensidade. Contudo, analisando ao pormenor, verifica-se que a geração de escorrência não responde de forma tão linear aos eventos de precipitação, existindo situações em que eventos de precipitação e de intensidade máxima mais baixos geram coeficientes de escorrência mais elevados e com perdas de nutrientes acima da média. Esta situação pode estar relacionada com as características hidrofóbicas do solo, comum em solos com plantações de eucalipto e pinheiro no litoral norte e centro do país. A presença da hidrofobia no solo leva à redução da capacidade de infiltração e ao aumento da escorrência superficial (FERREIRA et al., 2000).

Os C_{Esc} são, à exceção do dia de amostragem 2/12/2012, mais elevados nas parcelas de pinhal. Isto pode ser explicado pelo facto da encosta de pinhal ter um declive mais acentuado e as parcelas de eucaliptal terem mais mato, proporcionando maior interceção. Outros autores confirmaram este fenómeno (BOULET, 2011, FERREIRA, 1996).

Tabela 3 – Resumo das perdas de nutrientes, escorrência, precipitação, coeficiente de escorrência e intensidade máxima dos eventos de precipitação nas parcelas durante o período de estudo.

| | PT (g/ha) | | NT (g/ha) | | V_{esc} (mm) | | P_{total} (mm) | $I_{máx}$ (mm) | C_{Esc} (%) | |
|----------|------------|--------|------------|--------|----------------|--------|------------------|----------------|---------------|--------|
| | Eucaliptal | Pinhal | Eucaliptal | Pinhal | Eucaliptal | Pinhal | | | Eucaliptal | Pinhal |
| 25-11-11 | 0,11 | 0,12 | 1,81 | 2,99 | 0,43 | 0,45 | 47,4 | 7,3 | 0,91 | 0,95 |
| 02-12-11 | 0,06 | 0,07 | 0,95 | 1,30 | 0,08 | 0,05 | 10,2 | 11,4 | 0,82 | 0,51 |
| 08-12-11 | 0,02 | 0,02 | 0,24 | 0,40 | 0,02 | 0,03 | 7,6 | 4,4 | 0,29 | 0,34 |
| 16-12-11 | 0,20 | 0,31 | 3,31 | 6,91 | 0,64 | 1,09 | 98,6 | 23,5 | 0,64 | 1,10 |
| 06-01-12 | 0,06 | 0,08 | 1,03 | 1,98 | 0,08 | 0,15 | 15,2 | 3,7 | 0,51 | 0,96 |
| 20-01-12 | 0,04 | 0,04 | 0,94 | 0,87 | 0,05 | 0,05 | 15,6 | 6,4 | 0,33 | 0,35 |
| 07-03-12 | 0,29 | 0,17 | 7,84 | 8,08 | 0,31 | 0,26 | 35 | 11,5 | 0,88 | 0,75 |
| 13-04-12 | 0,14 | 0,19 | 4,57 | 5,88 | 0,14 | 0,22 | 10 | 2,6 | 1,42 | 2,24 |
| 19-04-12 | 0,17 | 0,46 | 4,62 | 9,27 | 0,37 | 0,92 | 64,4 | 15,3 | 0,57 | 1,43 |
| 26-04-12 | 0,21 | 0,50 | 2,63 | 7,87 | 0,49 | 1,24 | 107,8 | 21,3 | 0,45 | 1,15 |
| 04-05-12 | 0,20 | 0,46 | 2,46 | 5,70 | 0,50 | 1,15 | 90,2 | 23,0 | 0,55 | 1,28 |

Realizou-se uma análise exploratória dos dados baseada nas correlações entre os diferentes parâmetros estudados para as parcelas de eucaliptal e pinhal. Como os

parâmetros volume de escorrência nas parcelas de pinhal e a precipitação não apresentam distribuição normal, recorreu-se ao método não-paramétrico – coeficiente de correlação de Spearman. Como se observa nas Tabelas 4 e 5, as melhores relações encontradas foram registadas nas parcelas de pinhal. Nos dois tipos de floresta registaram-se fortes relações positivas entre perdas de nutrientes e sedimentos, para um intervalo de confiança acima dos 95%, sendo o coeficiente de correlação de Spearman mais elevado para o fósforo.

As relações entre a exportação de nutrientes e V_{esc} foram fortes positivas, à exceção das perdas de NT nas parcelas de eucaliptal. As perdas de sedimentos estão fortemente relacionadas com o V_{esc} , sendo a relação mais forte no pinhal. As relações entre C_{Esc} e nutrientes, C_{Esc} e sedimentos, C_{Esc} e V_{esc} foram, no geral, fracas, positivas e com um erro a variar, entre 7 e 30% para as parcelas de eucaliptal.

Tabela 4 – Correlações de Spearman dos diferentes parâmetros estudados nas parcelas de eucaliptal.

| | $SST_{eucaliptal}$ (g/ha) | $V_{Esc-eucaliptal}$ (mm) | $C_{Esc-eucaliptal}$ (%) | P_{total} (mm) | $I_{máx}$ (mm) | $\%VWC_{eucaliptal}$ |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------|----------------|----------------------|
| $PT_{eucaliptal}$ (g/ha) | 0,86 | 0,78 | 0,34 | 0,73 | 0,66 | 0,23 |
| p-value | <0,01 | <0,01 | 0,30 | <0,05 | <0,05 | 0,48 |
| $NT_{eucaliptal}$ (g/ha) | 0,77 | 0,59 | 0,58 | 0,46 | 0,39 | -0,10 |
| p-value | <0,01 | 0,05 | 0,06 | 0,15 | 0,22 | 0,76 |
| $SST_{eucaliptal}$ (g/ha) | | 0,84 | 0,56 | 0,67 | 0,70 | 0,09 |
| p-value | | <0,01 | 0,07 | <0,05 | <0,05 | 0,78 |
| $V_{Esc-eucaliptal}$ (mm) | | | 0,35 | 0,87 | 0,82 | 0,46 |
| p-value | | | 0,28 | <0,01 | <0,01 | 0,15 |
| $C_{Esc-eucaliptal}$ (%) | | | | -0,03 | -0,03 | -0,64 |
| p-value | | | | 0,92 | 0,92 | <0,05 |
| P_{total} (mm) | | | | | 0,86 | 0,65 |
| p-value | | | | | <0,01 | <0,05 |
| $I_{máx}$ (mm) | | | | | | 0,69 |
| p-value | | | | | | <0,05 |

Os resultados sugerem que as perdas de nutrientes estão fortemente associadas às perdas de sedimentos, sendo mais evidente no caso do PT, o que sugere, mais uma vez, que o PT se encontra predominantemente na forma particulada; como é lógico, as perdas de nutrientes estão fortemente dependentes do volume de escorrência, com mais relevância para o PT e os sedimentos; as relações do C_{Esc} com as perdas de nutrientes e sedimentos, V_{esc} , P_{total} e $I_{máx}$ são, no geral, mais fracas nas parcelas de eucaliptal; as perdas de nutrientes e sedimentos dependem fortemente da P_{total} e $I_{máx}$, sendo esta situação mais clara nas parcelas de pinhal e para as perdas de PT e sedimentos; como seria de esperar, o V_{esc} apresenta forte correlação com a P_{total} e $I_{máx}$; as relações entre a humidade do solo e as restantes variáveis são, no geral, fracas, exceto quando relacionadas com a P_{total} e $I_{máx}$ nos dois tipos de floresta.

De realçar que quando são comparadas as concentrações de nutrientes com o volume de escorrência nas parcelas, os coeficientes de correlação são negativos, podendo indicar a exaustão dos nutrientes por lavagem.

Tabela 5 – Correlações de Spearman dos diferentes parâmetros estudados nas parcelas de pinhal.

| | SST_{pinhal} (g/ha) | V_{Esc-pinhal} (mm) | C_{Esc-pinhal} (%) | P_{total} (mm) | I_{máx} (mm) | %VWC_{pinhal} |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| PT_{pinhal} (g/ha) | 0,90 | 0,93 | 0,85 | 0,79 | 0,66 | 0,44 |
| p-value | <0,01 | <0,01 | <0,1 | <0,01 | <0,05 | 0,17 |
| NT_{pinhal} (g/ha) | 0,67 | 0,75 | 0,69 | 0,64 | 0,55 | 0,10 |
| p-value | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0,08 | 0,76 |
| SST_{pinhal} (g/ha) | 0,97 | 0,73 | 0,88 | 0,73 | 0,66 | |
| p-value | | <0,01 | <0,05 | <0,01 | <0,05 | <0,05 |
| V_{Esc-pinhal} (mm) | | | 0,69 | 0,93 | 0,76 | 0,67 |
| p-value | | | <0,05 | <0,01 | <0,05 | <0,05 |
| C_{Esc-pinhal} (%) | | | | 0,44 | 0,26 | 0,25 |
| p-value | | | | 0,17 | 0,43 | 0,45 |
| P_{total} (mm) | | | | | 0,86 | 0,75 |
| p-value | | | | | <0,01 | <0,05 |
| I_{máx} (mm) | | | | | | 0,57 |
| p-value | | | | | | 0,06 |

As maiores exportações de nutrientes na floresta de pinhal estão, em primeiro lugar, relacionadas com o maior volume de escorrência observado durante o período de estudo neste tipo de floresta. Além disso, as diferenças encontradas poderiam, também, ser justificadas pela diferente dinâmica dos fluxos dos nutrientes nos dois tipos de floresta, dinâmica que está condicionada por uma combinação entre os processos hidrológicos e os biogeoquímicos. A menor disponibilidade de nutrientes nos solos das florestas de eucaliptal, em comparação com o pinhal, pode ser devida ao facto de os eucaliptos serem árvores de ciclo curto, sujeitas a cortes a cada 5 anos que, por isso, nem sempre alcançam a sua maturidade. Isto leva a que retirem maiores quantidades de nutrientes do solo que as florestas de pinhal, provocando a exaustão dos mesmos nos períodos de maior escoamento. As acentuadas irregularidades do relevo nas parcelas do eucaliptal (existência de sulcos, diferentes declives) e as características hidrofóbicas também podem estar na origem das diferenças entre os tipos de floresta, uma vez que a humidade do solo, junto com a temperatura, são fatores a ter em conta na atividade microbiana encarregada da mineralização da matéria orgânica no solo.

THOMAS et al. (2000b), na mesma área em estudo, constataram um aumento das perdas de nutrientes nos primeiros três anos pós-fogo nas florestas de pinhal e eucaliptal. As maiores perdas registaram-se na floresta de eucalipto, sendo o azoto (na forma de nitrato) o nutriente mais mobilizado. Os baixos valores registados nas parcelas de pinhal devem-se, possivelmente, ao baixo volume de escorrência.

As estimativas apresentadas por THOMAS et al. (2000b) para o período de novembro de 1992 a fevereiro de 1994 foram de 60 g/ha de NO_3^- -N para o eucaliptal não ardido, não sendo detetadas para o pinhal não ardido. Para o caso do PO_4^{3-} -P dissolvido, nesse estudo as estimativas anuais foram de 2 g/ha no eucaliptal e de 0,3 g/ha no pinhal. Para o mesmo período de estudo, as exportações de NO_3^- -N em áreas ardidas foram de 350-1120 g/ha para o eucaliptal e de 370-1100 g/ha para o pinhal. Para o PO_4^{3-} -P, as exportações foram de 380-550 g/ha para o eucaliptal e 10-80 g/ha para o pinhal. Comparando os resultados com os registados, ao nível de parcela, no presente estudo, as perdas de nutrientes em áreas não ardidas apresentam a mesma ordem de grandeza. Isto, acompanhado pelo facto do período de estudo do presente trabalho ser de apenas seis meses e num ano extremamente seco, traduz-se em incertezas no que diz respeito à exportação de nutrientes em plantações de pinhal e eucalipto em Portugal.

Na Tabela 6 é possível visualizar as gamas de concentrações obtidas noutros trabalhos realizados na mesma bacia da área de estudo. Analisando a tabela, verifica-se que as concentrações de azoto (nas formas de nitratos e nitritos dissolvidos) (FERREIRA, 1996) são mais elevadas no primeiro ano após incêndio florestal e para situações em que o solo não se encontra saturado. Somente no primeiro ano após incêndio se constataram concentrações superiores às obtidas neste trabalho. A comparação destes valores com os obtidos neste trabalho é limitada, uma vez que estes autores estudaram as formas dissolvidas dos nutrientes e as áreas por eles estudadas foram, na sua maioria, áreas ardidas.

Tabela 6 – Gamas de concentrações de nutrientes obtidas por outros autores na mesma bacia em estudo (parcelas com A=16 m²).

| Referência | Bacia | Usos do solo | | NO ₂ ⁻ (mg/L) | NO ₃ ⁻ (mg/L) | PO ₄ ³⁻ (mg/L) |
|--------------------------|---------------|---|----------------------|--|--|---|
| (FERREIRA, 1996)* | Barrosa | <i>Pinus pinaster</i> Ait regenerado após incêndio e corte | Saturado | 0-0,073 | 0,1-2,0 | - |
| | | | Não saturado | 0-0,112 | 0,1-1,4 | - |
| | Lourizela | <i>Pinus pinaster</i> Ait após incêndio | 1º ano após incêndio | 0,002-2,94 | 0-7,75 | - |
| | | | 2º ano após incêndio | 0-0,605 | 0,1-1,6 | - |
| | Falgorosa | <i>Eucalyptus globulus</i> regenerado após corte | Período húmido | 0-0,009 | 0,8-1,2 | - |
| | | | Período seco | 0 | 1,1-3,7 | - |
| | Sernadinha | <i>Eucalyptus globulus</i> regenerado após incêndio e corte | Saturado | 0-0,01 | 0,1-1,8 | - |
| | | | Não saturado | 0-0,021 | 0,2-3,1 | - |
| (THOMAS et al., 2000b)** | Serra de Cima | <i>Eucalyptus globulus</i> após lavragem | Saturado | 0-0,02 | 0,1-1,8 | - |
| | | | Não saturado | 0-0,085 | 0-5,3 | - |
| | Falgorosa | <i>Eucalyptus globulus</i> | Ardido | - | 0,10-0,53 | 0,002-1,40 |
| | Lourizela | <i>Pinus pinaster</i> Ait | Ardido | - | 0,10-0,32 | 0-0,13 |

*Nitratos e nitritos na forma dissolvida

**NO₃⁻-N e PO₄³⁻-P na forma dissolvida

Exportação de nutrientes à escala de bacia

Características gerais das amostragens e comportamento hidrológico das bacias em estudo

A precipitação registada na estação meteorológica de Pousadas durante o período de estudo foi de 754 mm, da qual 50% concentrou-se nos meses de novembro e abril, com quase 200 mm em cada um, estando a restante precipitação repartida pelos outros meses. Os caudais nas bacias durante o mesmo período oscilaram entre a não existência de fluxo, no início do ano hidrológico, no mês de outubro de 2011, e os 159,4 L/s em Lourizela e 89,56 L/s em Serra de Cima durante a última amostragem realizada. No entanto, o escoamento total nas bacias de Serra de Cima e de Lourizela, durante o período de estudo, foi de 136,9 mm e 117,6 mm, respetivamente, verificando-se uma resposta hidrológica muito semelhante para duas bacias. A importância das escassas precipitações nas bacias de estudo e a sua influência na geração do escoamento observa-se na Figura 11, onde se comparam os escoamentos mensais nas bacias para os dois anos hidrológicos que antecederam o período de estudo até ao fim do período de estudo em maio de 2012.

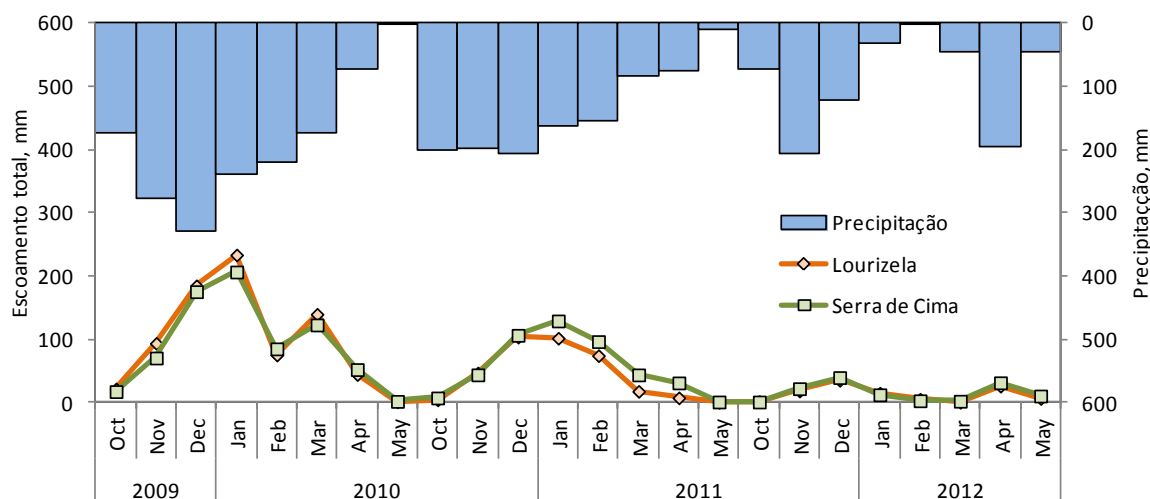


Figura 11 – Precipitação e escoamento mensal nas bacias de estudo durante os dois anos hidrológicos prévios e o período de estudo do presente trabalho.

A fim de conhecer a influência dos caudais de base e de cheia sobre a exportação de nutrientes, procedeu-se a amostragens durante o escoamento basal (amostragens manuais em ambas as bacias) e durante os picos de cheia (amostragem automática na bacia de Serra de Cima). Na Figura 12 é possível visualizar a evolução do caudal diário e os momentos das amostragens (manuais e automáticas) durante o período de estudo e para ambas as bacias. No total foram recolhidas 42 amostras de escoamento basal (21 em cada bacia) e 72 amostras durante os picos de cheia em Serra de Cima.

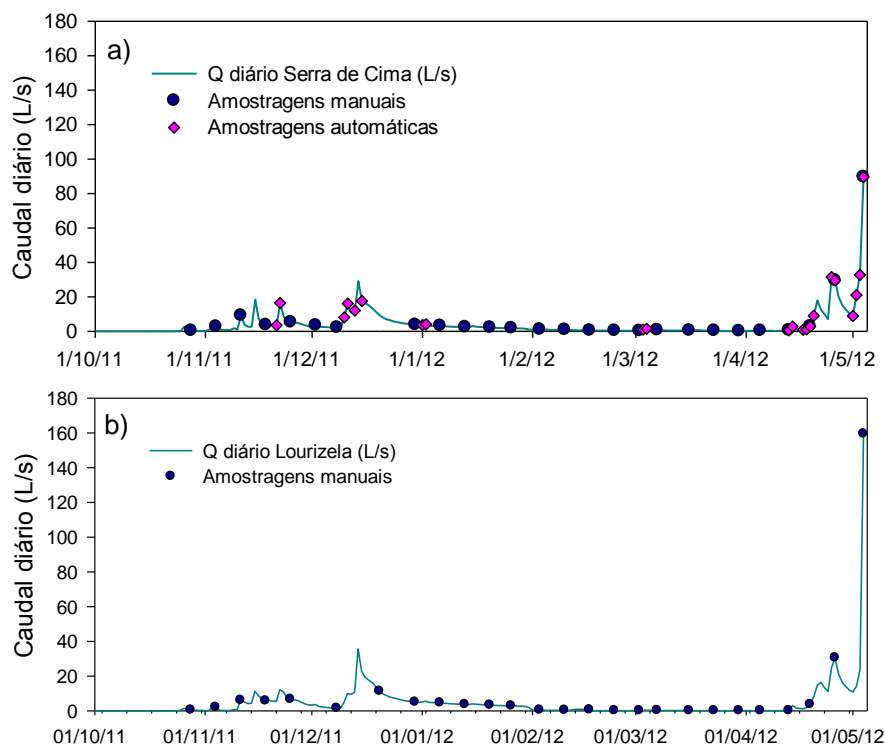


Figura 12 – Evolução temporal do caudal diário e representação dos pontos de amostragem para ambas as bacias durante o período de estudo.

A resposta hidrológica de uma bacia pode ter diferentes comportamentos, consoante a duração, distribuição e intensidade da precipitação, humidade do solo e características topográficas e geológicas da bacia. As características da precipitação predominam na ascensão da curva de crescimento, enquanto que as características topográficas e geológicas predominam na definição da curva de decrescimento. De referir que curvas de decrescimento lentas sugerem forte contribuição do caudal de base e saturação dos solos. Por outro lado, curvas de ascensão mais rápidas estão associadas a eventos de precipitação e intensidade máxima mais elevadas (LENCASTRE et al., 2006).

Durante o período amostrado registaram-se quinze eventos de precipitação de duração variável. Na Figura 13a e 13b pode-se ver em pormenor o primeiro evento amostrado na bacia de Serra de Cima e Lourizela. Neste primeiro evento, as respostas hidrológicas apresentam algumas diferenças de comportamento e verifica-se que a resposta hidrológica para a bacia de Serra de Cima é mais acentuada, atingido um $Q_{\text{máx}}$ de 32,3 L/s, enquanto para Lourizela atinge os 14,9 L/s. As restantes respostas hidrológicas também apresentam diferenças de comportamento, manifestando, em algumas situações, caudais (L/s) superiores em Lourizela (Anexo B). Os eventos com menor

duração foram os seguintes: 2, 3, 6, 7, 9 e 13 (5 a 15 horas). Os restantes foram de maior duração (17 a 35 horas).

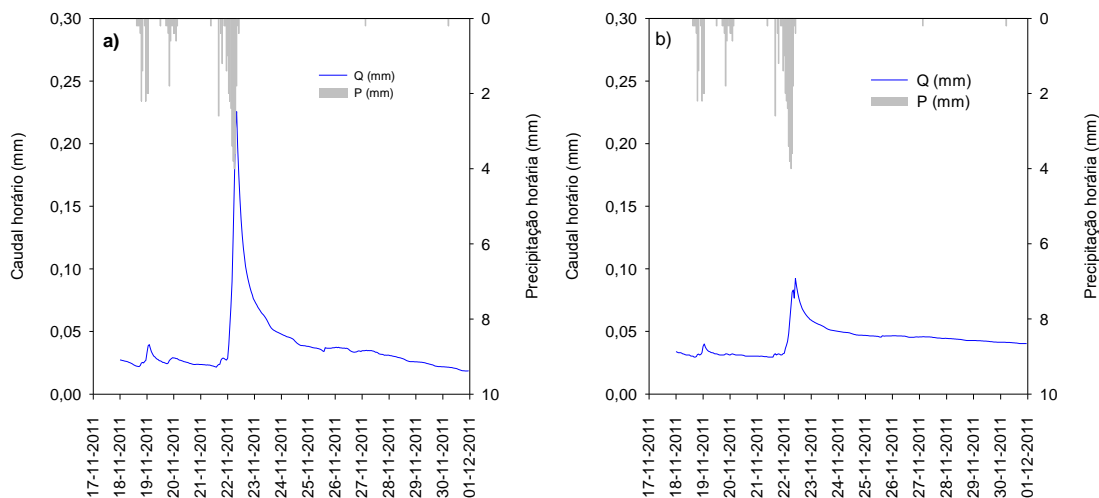


Figura 13 – Resposta hidrológica ao primeiro evento de precipitação amostrado da bacia de: a) Serra de Cima b) Lourizela.

No Anexo B, nas Tabelas 17 e 18 é possível visualizar as características das respostas hidrológicas dos picos de cheia aos eventos de precipitação em ambas as bacias estudadas. Analisando os dados para Serra de Cima, verifica-se que os picos correspondentes ao eventos 1, 4, 13 e 14 resultaram de precipitações elevadas (>30 mm) e caudais de base também elevados devido à existência de precipitações antecedentes. Esta situação sugere condições de humidade do solo elevadas, que por sua vez conduziram a elevados coeficientes de escorrência (RODRÍGUEZ-BLANCO, 2009). Apesar de ser o evento com menor duração e da precipitação ser de 26,2 mm, o evento 12 (25/4/2012) foi aquele que gerou um pico com maior coeficiente de escorrência, possivelmente devido à precipitação antecedente que proporcionou condições de humidade do solo e caudal de base mais elevados. O evento 7 (13/4/2012 a 14/4/12), apesar da precipitação ter sido elevada (35,2 mm), gerou um pico com coeficiente de escorrência baixo. Isso pode ser explicado pelo facto da precipitação antecedente ser baixa (37 mm nos 21 dias anteriores) em comparação com os outros eventos. Os restantes eventos (2, 3, 5, 6, 8, 9 e 10) geraram picos com coeficientes de escorrência mais baixos. O evento 11 (20/4/12 a 21/4/2012), apesar de não estar incluído nos grupos anteriores ($P_{\text{Total}}=28,6$ mm) gerou um coeficiente de escorrência elevado, possivelmente devido às condições de humidade do solo.

Para Lourizela, no geral, a resposta hidrológica foi semelhante à registada em Serra de Cima. No entanto, na bacia de Lourizela, o evento de precipitação do dia 4/3/2012 com 4,8 mm de chuva gerou uma resposta hidrológica, ainda que muito pequena, ao passo que em Serra de Cima não houve qualquer resposta nesse dia. Os eventos 8 e 13 não geraram resposta hidrológica ao contrário de Serra de Cima. Os eventos 1, 4 e 14, à semelhança do que aconteceu em Serra de Cima, resultaram em precipitações elevadas, precipitações antecedentes elevadas e caudal de base elevados. Os eventos 2, 3, 5, 6, 9, 10 e 6* geraram coeficientes de escorrência baixos. O evento 14 (4/5/2012) foi o evento que gerou uma resposta hidrológica com coeficiente de escorrência mais elevado. À semelhança do que aconteceu em Serra de Cima, o evento dos dias 13/4/2012 a 14/4/2012, apesar da precipitação ter sido mais elevada, gerou uma resposta hidrológica com um dos coeficientes de escorrência mais baixos registados ao longo do período de estudo.

Quanto às curvas de crescimento e decrescimento, no geral, as curvas de ascensão foram ligeiramente de menor duração para Lourizela, possivelmente devido ao percurso médio do escoamento superficial (\bar{P}_s) que é ligeiramente inferior nesta bacia (LENCASTRE et al., 2006). A maioria dos eventos amostrados gerou respostas de ascensão relativamente rápidas e de decrescimentos mais lentos o que pode indicar o elevado estado de saturação dos solos e por consequência baixa capacidade de infiltração (RODRÍGUEZ-BLANCO, 2009).

Valores globais de escoamento, nutrientes, sedimentos, condutividade e pH durante o escoamento basal em ambas as bacias

Para o período de estudo, verifica-se que, em média, os valores de caudal, perdas de nutrientes e sedimentos e CE das amostragens são mais elevados na bacia de Lourizela, onde é predominante o pinhal. Apesar de muito próximos, os valores de caudal registados (Figura 14a) são, em média, mais elevados para a bacia de Lourizela (1,55 L/s para Serra de Cima e 2,04 L/s para Lourizela). A mediana obtida para o período de estudo é de 0,94 L/s para Serra de Cima e de 1,51 L/s para Lourizela. O caudal em Lourizela oscilou entre 0,02 L/s em 5/4/2012 e 6,09 L/s em 25/11/2011, enquanto que para Serra de Cima variou entre 0,15 L/s em 2/3/2012 e 5,33 L/s em 25/11/2011. O NT mobilizado, Figura 14b, variou entre 0 e 0,22 g/ha, com uma média de 0,03 g/ha e mediana 0,006 g/ha na bacia de Lourizela, enquanto que para a bacia de Serra de Cima oscilou entre 0 e 0,03 g/ha, com média de 0,003 g/ha e mediana 0,001 g/ha. As perdas

de PT (Figura 14c) variaram entre 0 e 0,003 g/ha, com média 0,001 g/ha e mediana 0,001 g/ha para a bacia de Lourizela, enquanto que para a bacia de Serra de Cima oscilaram entre 0 e 0,003 g/ha, com média de 0,001 g/ha e mediana 0,0004 g/ha. Na Figura 14d é possível visualizar as perdas de SST durante o período de estudo. As perdas de sedimentos oscilaram entre 0,001 e 3,51 g/ha, média de 0,76 g/ha e mediana 0,19 g/ha para a bacia de Lourizela, enquanto que na bacia de Serra de Cima variaram entre 0 e 2,54 g/ha, média 0,50 g/ha e mediana 0,14 g/ha. A CE durante o período de estudo Figura 14e variou entre 31 e 79 $\mu\text{S/cm}$, média 61 $\mu\text{S/cm}$ e mediana 62 $\mu\text{S/cm}$ para a bacia de Lourizela, enquanto na bacia de Serra de Cima os valores oscilaram entre 30 e 86 $\mu\text{S/cm}$, média 59 $\mu\text{S/cm}$ e mediana 56 $\mu\text{S/cm}$. Por fim, o pH (Figura 13f) variou entre 5,18 e 5,98, média de 5,69 e mediana 5,69 para Lourizela, enquanto que para Serra de Cima variou entre 4,87 e 6,60, média de 5,87 e mediana 5,89.

Para o período de estudo, para as amostragens realizadas e durante o escoamento basal, o total mobilizado na bacia de Serra de Cima de NT e PT foi de 0,09 e 0,02 g/ha, respetivamente. Na bacia de Lourizela, registaram-se perdas de NT e PT de 0,70 e 0,02 g/ha, respetivamente.

As concentrações de nutrientes e sedimentos durante o escoamento basal oscilaram entre 0 e 0,66 mg/L de NT (para um caudal de 0,52 e 0,22 L/s, respetivamente), 1,03 e 34,80 $\mu\text{g/L}$ de PT (para um caudal de 3,56 e 0,22 L/s, respetivamente) e 0 e 18,00 mg/L de SST (para um caudal de 0,52 e 0,22 L/s, respetivamente) para a bacia de eucaliptal. Para a bacia de pinhal, os valores variaram entre 0 e 0,78 mg/L de NT (para um caudal de 0,32 e 4,94 L/s respetivamente), 3,66 e 50,22 $\mu\text{g/L}$ de PT (para um caudal de 1,60 e 0,02 L/s, respetivamente) e 0,22 e 20,04 mg/L de SST (para uma caudal de 0,11 e 0,90 L/s, respetivamente).

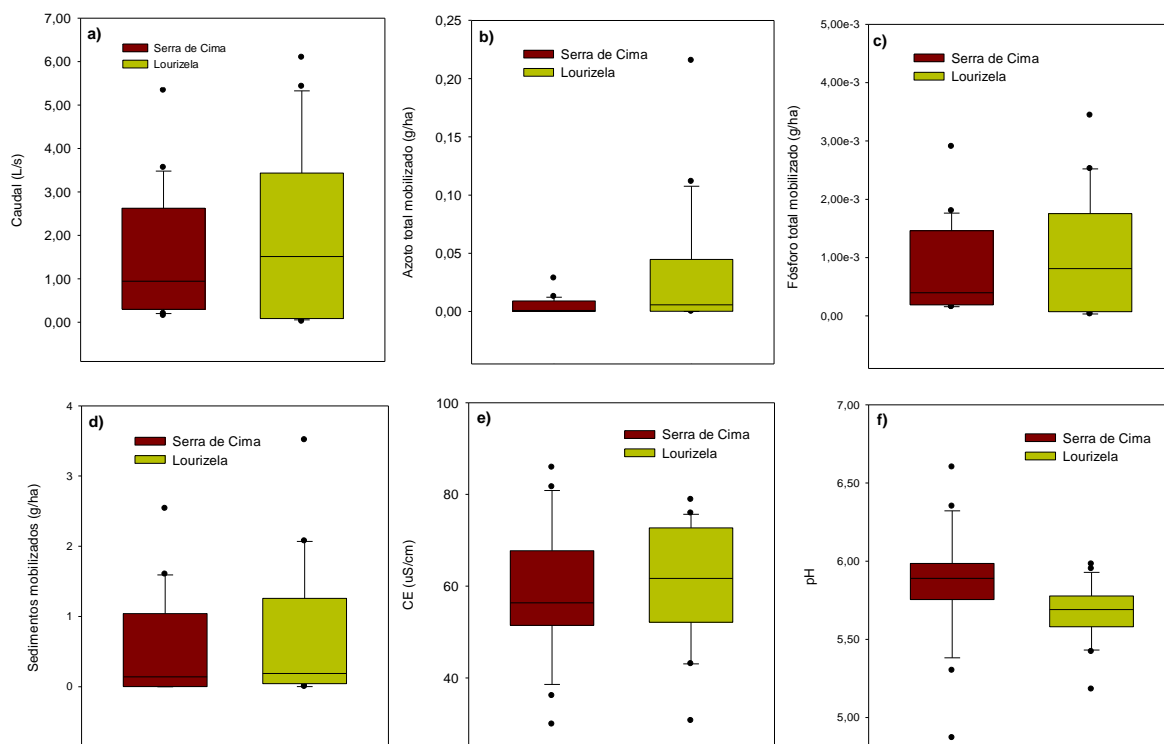


Figura 14 – Valores globais de caudal, perdas de nutrientes e sedimentos, condutividade e pH durante o escoamento basal e à escala de bacia para o período de estudo.

Para o escoamento basal, no período de estudo, verificou-se uma mobilização de nutrientes muito baixa, assim como registado noutros estudos, RODRÍGUEZ-BLANCO et al. (2009) obtiveram valores mais baixos de sedimentos e nutrientes durante o escoamento basal. O nutriente mais mobilizado foi o NT, apesar da grande proximidade entre os dois parâmetros.

Analisando a Figura 15a, verifica-se que as perdas de NT, para Serra de Cima, são muito pequenas, sendo sempre abaixo dos 0,03 g/ha. Ainda para Serra de Cima, este parâmetro apresenta oscilações diminutas, sendo os valores mais elevados registados nos dias de amostragem 04/11/2011 e 26/1/2012, amostragens que registaram valores de caudais acima da média durante as amostragens do escoamento basal (1,64 L/s e 1,70 L/s, respetivamente). Em relação às perdas de NT na bacia de Lourizela (Figura 15a) o valor de perda de NT mais elevado (0,22 g/ha) foi registado no dia de amostragem 30/12/2011, diminuindo consideravelmente a partir dessa data. As perdas de NT foram, no geral, superiores em Lourizela.

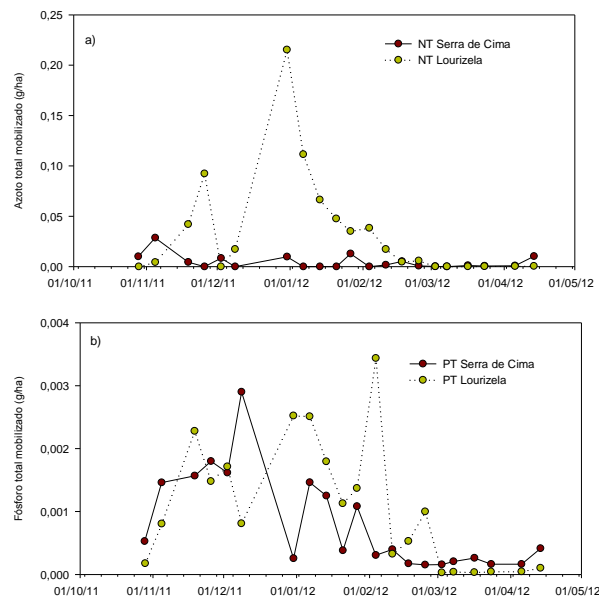


Figura 15 – Evolução temporal da exportação de nutrientes durante o escoamento basal para ambas as bacias.

Na Figura 15b, encontra-se a evolução de PT durante o escoamento basal para ambas as bacias. Para Serra de Cima, verificam-se pequenas oscilações, não apresentando qualquer relação com o caudal. A partir de 10/02/2012, as perdas de PT mantiveram-se constantes e com valores muito baixos, possivelmente devido ao baixo caudal e baixa humidade nesse período. Para Lourizela, o comportamento foi semelhante, tendo o período de oscilações estendido-se até ao dia de amostragem 24/2/2012. Neste período, as perdas de PT foram, quase sempre, superiores em Lourizela. A partir de 2/3/2012 as perdas de PT mantiveram-se muito baixas, sendo mais elevadas para Serra de Cima. O valor máximo registado em ambas as bacias foi de 0,03 g/ha nas amostragens de 8/12/2011 para Serra de Cima e 2/3/2012 para Lourizela.

Valores globais de escoamento, nutrientes, sedimentos, condutividade e pH durante eventos de cheia na bacia de Serra de Cima

Durante os picos de cheia em Serra de Cima, o caudal horário das amostragens variou entre 0,52 e 134,09 L/s, com uma média de 22,21 L/s e mediana 11,28 L/s. As perdas de nutrientes das amostragens oscilaram entre 0,0003 e 0,97 g/ha, média de 0,05 g/ha e mediana de 0,01 g/ha para o PT e 0 e 11,56 g/ha com uma média de 0,72 g/ha e uma mediana de 0,13 g/ha para o NT. Quanto às perdas de SST das amostragens, estas variaram entre 0 e 654 g/ha com uma média de 28,84 g/ha e mediana de 2,02 g/ha. A CE, Figura 16a, variou entre 18 e 82 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com uma média de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e uma

mediana de 47,13 $\mu\text{S/cm}$. Por fim, o pH das amostragens, Figura 16b, variou entre 4,39 e 6,56 com uma média de 5,85 e uma mediana de 5,89.

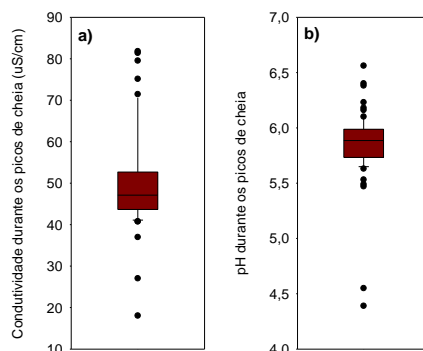


Figura 16 - Valores globais de condutividade e pH durante os picos de cheia e à escala de bacia para o período de estudo.

Durante o período de estudo e para as amostragens nas situações de cheias em Serra de Cima, os totais mobilizados foram de 3,64 e 48,12 g/ha para o PT e NT, respetivamente. A carga total de sedimentos mobilizada foi de 1932,26 g/ha.

Nesta bacia, as concentrações de nutrientes e sedimentos oscilaram entre 0 e 1,31 mg/L de NT (para um caudal de 2,98 e 6,93 L/s, respetivamente), 0,39 e 103,47 $\mu\text{g/L}$ de PT (para um caudal de 9,39 e 134,09 L/s, respetivamente) e 0 e 70,00 mg/L de SST (para um caudal de 2,98 e 134,09 L/s, respetivamente).

Evolução temporal da mobilização de nutrientes e sedimentos durante os picos de cheia em Serra de Cima

Com o objetivo de encontrar relações entre o caudal, perdas de nutrientes e de sedimentos, procedeu-se à análise gráfica das curvas ascendentes e descendentes dos hidrogramas amostrados.

Analisando o pico 1 (Figuras 17a, 17b e 17c), verifica-se que a fase de crescimento dos nutrientes e sedimentos é muito semelhante à fase de crescimento do caudal. No entanto, para os sedimentos e NT, verifica-se que a curva de decrescimento tem um declínio mais acentuado e que pode ser explicado pela exaustão destes. A carga máxima de nutrientes mobilizada durante o pico foi de 0,03 g/ha para PT e 2,78 g/ha de NT. A carga de sedimentos máxima foi de 12,03 g/ha.

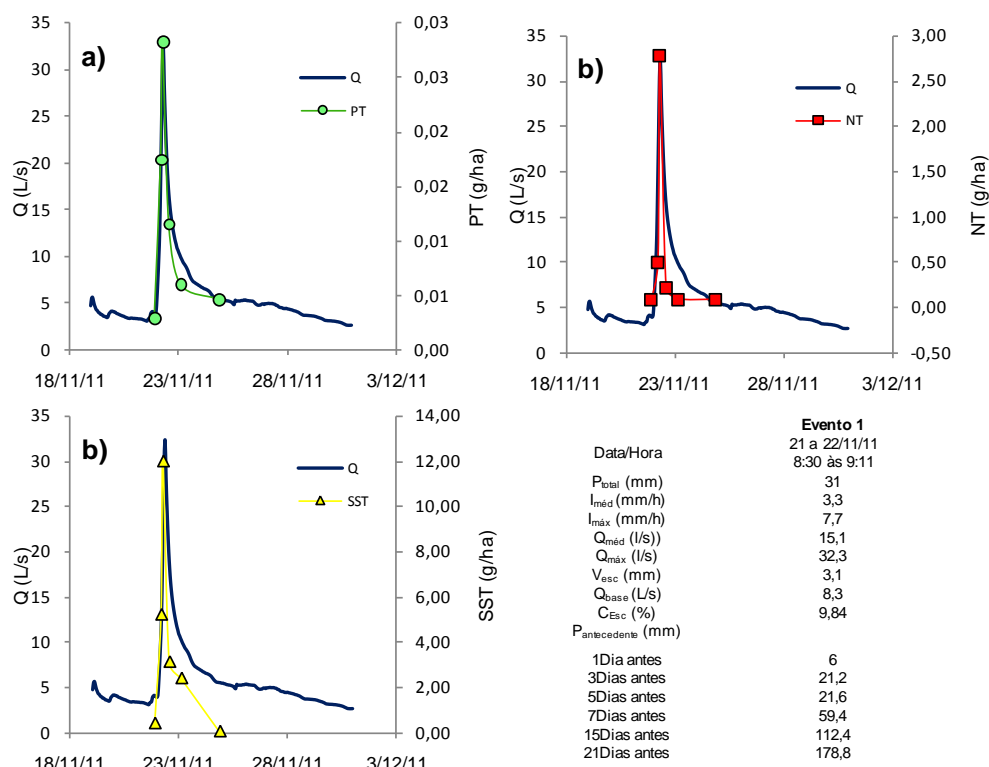


Figura 17 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo do pico de cheia do evento 1.

Analisando as Figuras 18a, 18b e 18c, onde estão representados os picos correspondentes aos eventos 2, 3 e 4, verifica-se, para o pico do evento 2, que nutrientes, sedimentos e caudal apresentam curvas de resposta com comportamento semelhante. Nutrientes e sedimentos geraram uma resposta muito pequena a este evento, possivelmente por existirem em menor quantidade e pelo caudal ser baixo. A carga máxima de nutrientes mobilizada neste pico foi de 0,01 g/ha para o PT e de 0,32 g/ha para o NT. A carga máxima de SST para este pico foi de 5,09 g/ha. Quanto ao pico do evento 3, verifica-se que as curvas de resposta do PT e caudal são muito semelhantes, no entanto, no final da curva de decrescimento, ocorreu uma rarefação de PT. A curva de resposta do NT apresenta um ligeiro desfasamento, sendo o seu pico atingido antes do pico do caudal (6 horas antes). No final da curva de decrescimento, o NT sofre um declínio acentuado. A curva de resposta dos SST é mais lenta, sendo o seu pico atingido depois do pico do caudal (12 horas depois). O baixo coeficiente de escorrência pode estar na origem de uma resposta mais lenta. O diferente comportamento entre nutrientes e sedimentos sugere que os nutrientes, para este pico, se encontram na forma dissolvida. O máximo de PT, NT e sedimentos mobilizados neste pico foram de 0,01 g/ha, 0,36 g/ha e 7,13 g/ha, respetivamente. No pico do evento 4, as

curvas de resposta dos nutrientes e caudal são muito semelhantes, sendo, no entanto, são mais acentuadas para os nutrientes. A mobilização de sedimentos atingiu o máximo após o caudal máximo (3 horas depois). De referir que a parte final das curvas de decrescimento do NT e sedimentos é muito semelhante. A carga máxima de PT, NT e SST mobilizada foi de 0,04 g/ha, 1,10 g/ha e 21,42 g/ha, respetivamente.

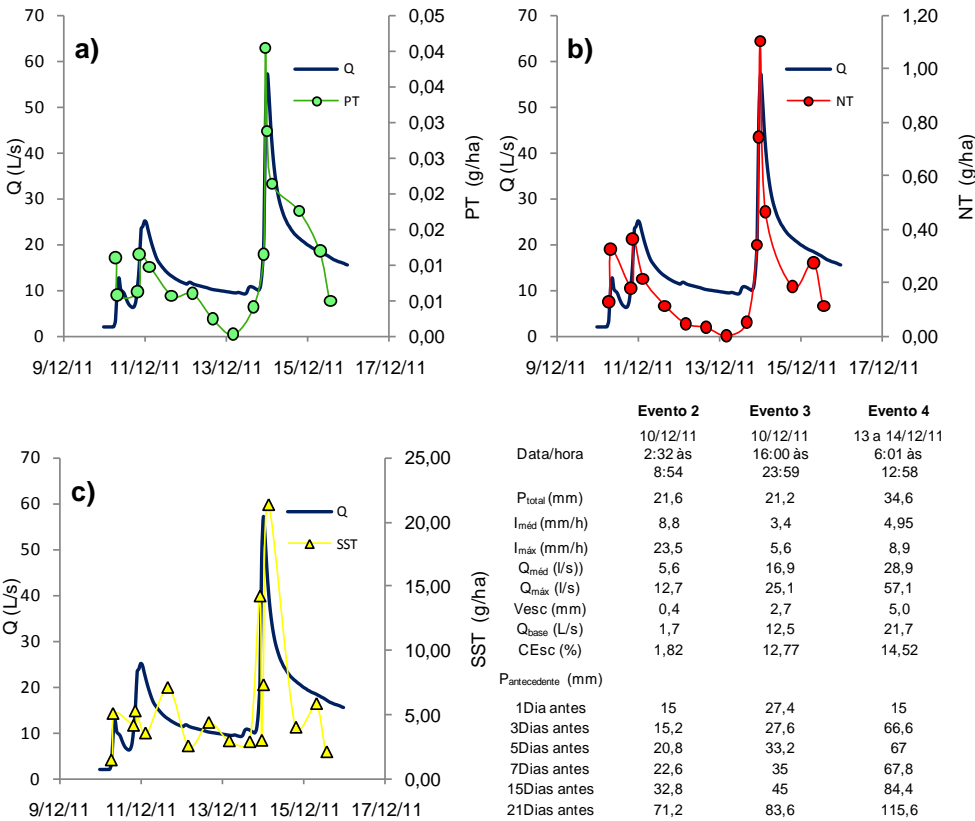


Figura 18 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo dos picos de cheia dos eventos 2, 3 e 4.

Analisando o pico do evento 5, Figura 19a, 19b e 19c, verifica-se que as respostas de nutrientes e sedimentos são semelhante à curva de resposta do caudal. No entanto o NT parece ter um declínio mais acentuado. Os máximos de PT, NT e SST mobilizados foram de 0,004 g/ha, 0,03 g/ha e 0,22 g/ha, respetivamente.

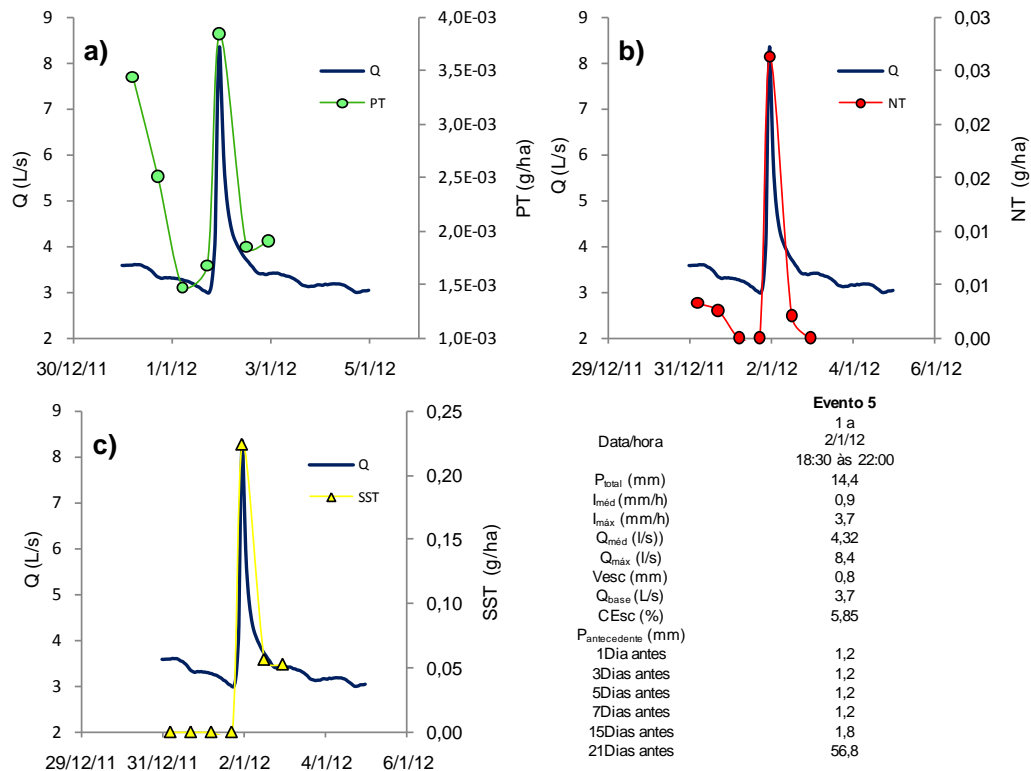


Figura 19 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo do pico de cheia do evento 5.

No pico relativo ao evento 6, Figura 20a, 20b e 20c, as curvas de resposta de sedimentos e nutrientes foram mais rápidas e atingiram um máximo antes do pico de caudal (11 horas antes), sendo as curvas de decrescimento ligeiramente mais acentuadas. Estes fenómenos podem estar relacionados com o arraste de sedimentos da superfície do solo e consequente rarefação dos sedimentos disponíveis. Os resultados sugerem que, para este pico, os nutrientes poderão estar associados aos sedimentos. A carga máxima de PT, NT e SST mobilizados foi de 0,005 g/ha, 0,15 g/ha e 0,68 g/ha, respetivamente.

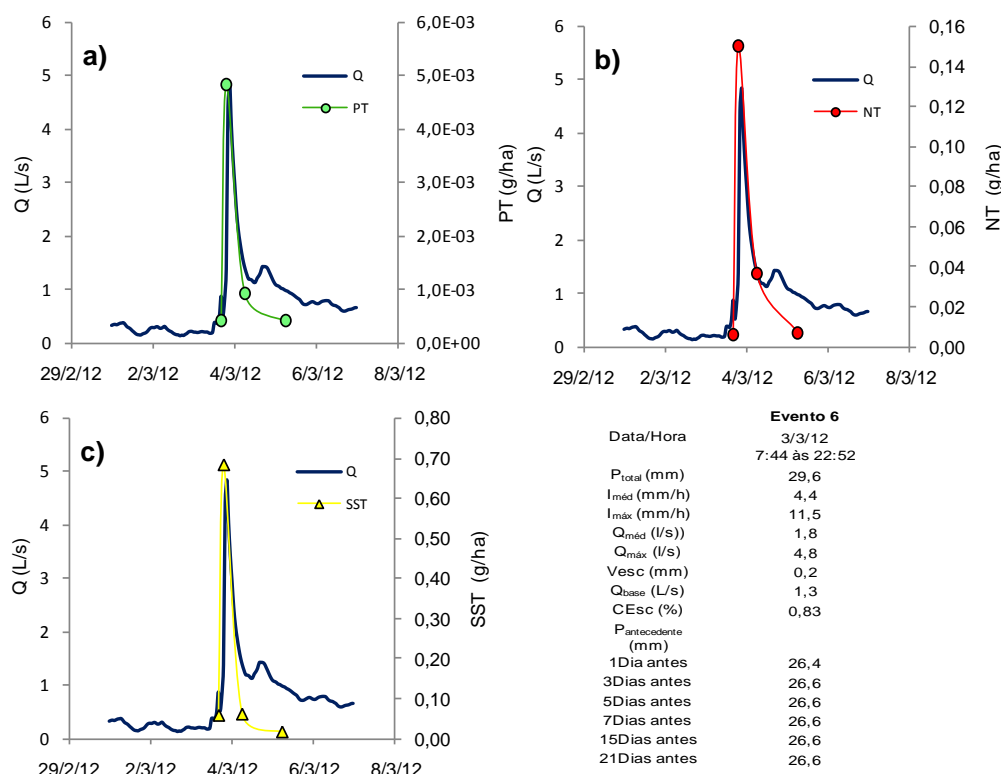


Figura 20 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo do pico de cheia do evento 6.

Estudando a Figura 21a, 21b e 21c, onde estão representados os picos dos eventos 7, 8 e 9, e para o primeiro pico, denota-se um desfaseamento na resposta de sedimentos e nutrientes em relação à resposta do caudal, sendo o máximo de nutrientes e sedimentos atingido após o pico de caudal (2 horas depois). As curvas de decrescimento de nutrientes e sedimentos são mais acentuadas, o que poderá ser indicativo de esgotamento dos mesmos. Os resultados indicam possibilidade de associação de nutrientes aos sedimentos. O segundo pico não produziu qualquer curva de resposta para nutrientes e sedimentos. O último pico apresentou uma curva de resposta pequena para esses parâmetros. Isto pode ter acontecido pelo facto do caudal máximo nesses picos ter sido muito baixo ou devido a um possível esgotamento de nutrientes e sedimentos. A carga máxima de PT, NT e SST mobilizada durante o primeiro pico foi de 0,02 g/ha, 0,63 g/ha e 2,31 g/ha, respetivamente. O segundo pico exportou um máximo de PT, NT e SST de 0,001 g/ha, 0,01 g/ha e 0,10 g/ha, respetivamente. Por último, o terceiro pico exportou um máximo de 0,003 g/ha de PT, 0,06 g/ha NT e 0,27 g/ha de SST.

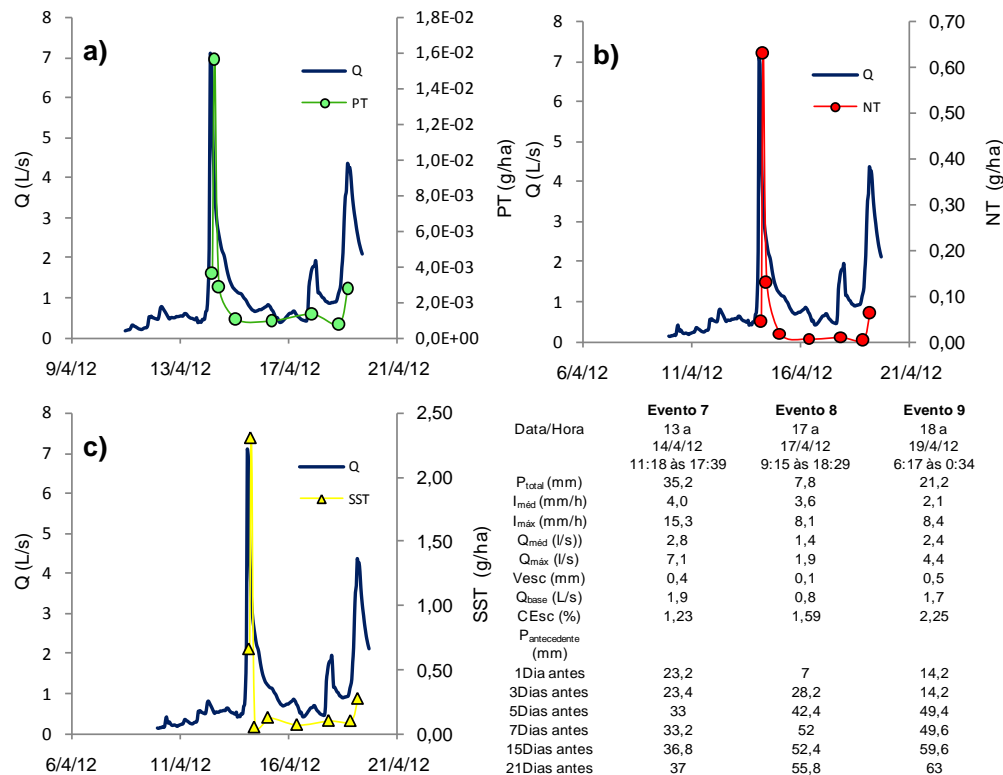


Figura 21 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo dos picos de cheia do evento 7, 8 e 9.

Na Figura 22a, 22b e 22c, com os picos dos eventos 10, 11 e 12, verifica-se que o evento 10 produziu uma curva de resposta de PT com máximo atingido após o pico do caudal (8 horas depois). As curvas de resposta do NT e SST foram muito semelhantes à curva de resposta do caudal. A carga máxima de PT, NT e SST foi de 0,03 g/ha, 0,41 g/ha e 2,68 g/ha. O evento 11 gerou uma resposta de PT e SST mais lenta do que a resposta do caudal, atingindo o seu máximo após o pico do caudal. Este evento não gerou um pico de NT, apesar de ter registado precipitação total, intensidade máxima, caudal e coeficiente de escorrência mais elevados. De referir que o pico de SST e PT foram mais pequenos do que os registados no evento 10. Estas situações podem ser explicadas pelo efeito de lavagem de sedimentos e nutrientes. A carga máxima de PT, NT e SST mobilizados foi de 0,02 g/ha, 0,17 g/ha e 1,45 g/ha, respetivamente. O evento 12 gerou curvas de resposta de NT e PT mais rápidas (3 horas) do que a curva de resposta do caudal e SST. Os resultados sugerem que neste pico os nutrientes se encontram na forma dissolvida. A carga máxima de PT, NT e SST mobilizada foi de 0,29 g/ha, 3,19 g/ha e 43,09 g/ha, respetivamente.

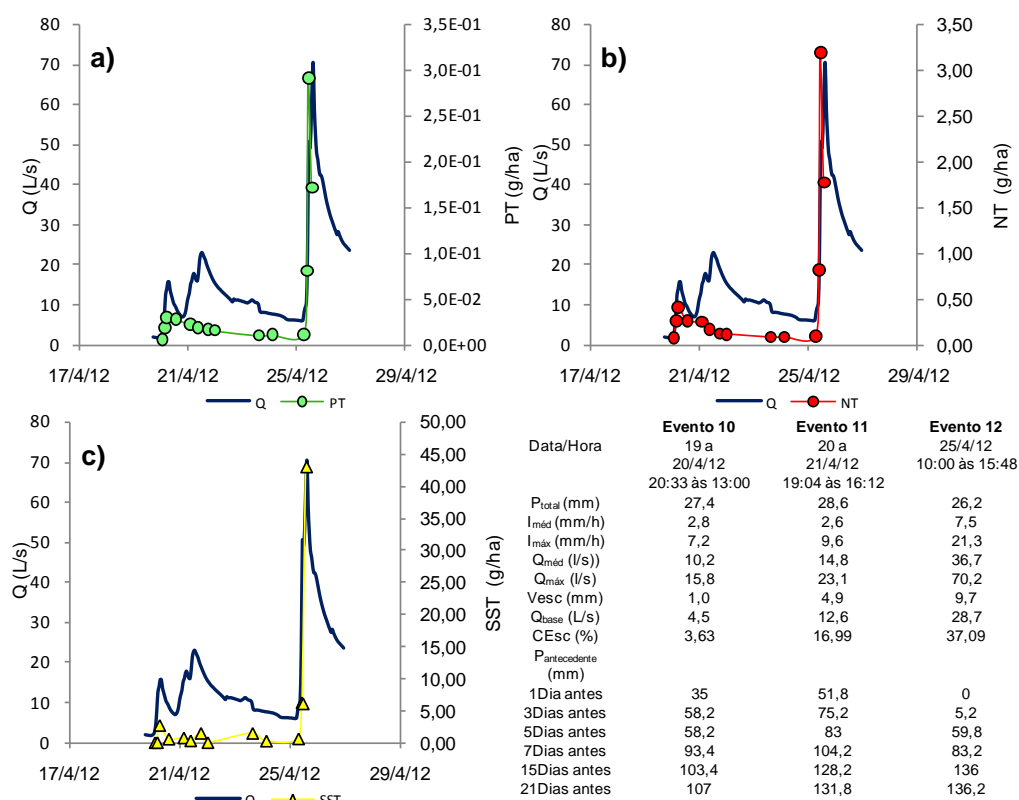


Figura 22 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo dos picos de cheia do evento 10 e 11.

O pico do evento 13 gerou curvas de resposta de nutrientes e sedimentos semelhantes à curva de resposta do caudal. A carga máxima de PT, NT e SST mobilizada durante este pico foi de 0,08 g/ha, 0,73 g/ha e 12,98 g/ha, respetivamente. O pico do evento 14 gerou uma resposta mais rápida para os nutrientes (1 horas antes), enquanto os picos de caudal e sedimentos foram atingidos umas horas depois com curvas muito semelhantes. As curvas de decrescimento de sedimentos e nutrientes foram mais acentuadas e rápidas do que a curva de decrescimento do caudal, o que sugere o esgotamento dos mesmos. A carga máxima gerada no segundo pico foi de 0,97 g/ha para o PT, 11,55 g/ha de NT e 654,40 g/ha de SST.

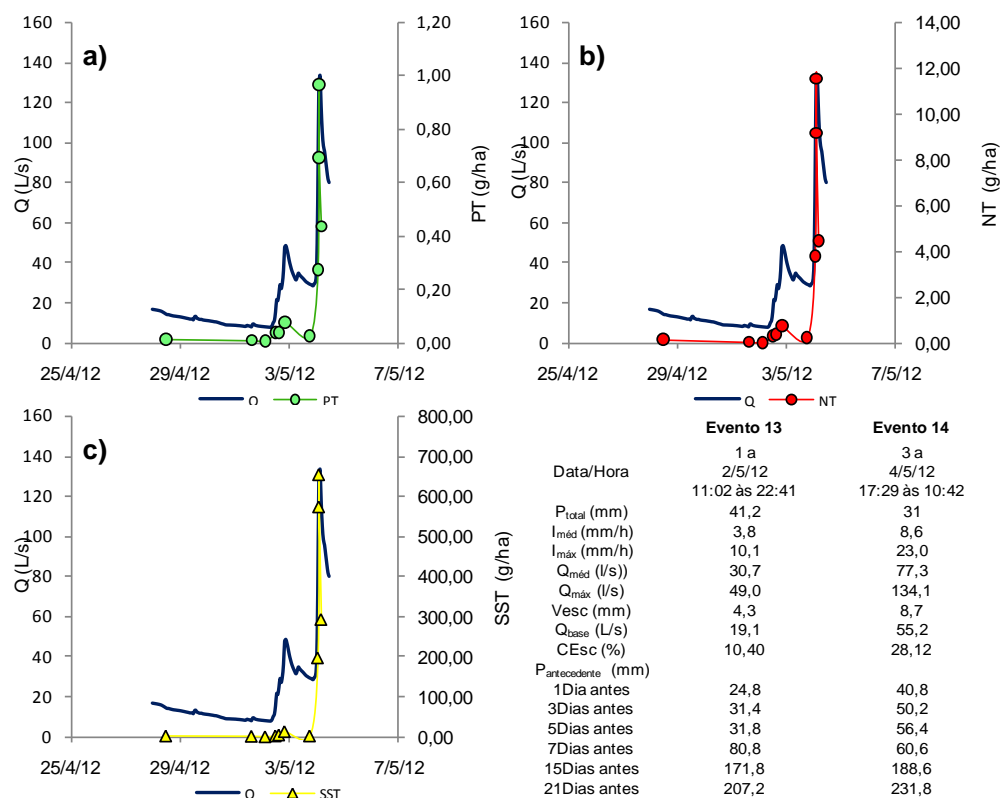


Figura 23 - Comportamento do caudal, perdas de nutrientes e sedimentos ao longo dos picos de cheia do evento 12 e 13.

Na Tabela 7 encontra-se resumida a gama de valores das concentrações e exportações de nutrientes e sedimentos durante os eventos de precipitação para Serra de Cima.

Tabela 7 – Gama de valores das concentrações e exportações de nutrientes e sedimentos durante os eventos de precipitação para Serra de Cima.

| Evento | Gama | | | | | |
|--------|--------------|--------------|------------|------------|-------------|---------------|
| | PT (µg/L) | PT (g/ha) | NT (mg/L) | NT (g/ha) | SST (mg/L) | SST (g/ha) |
| 1 | 8,79- 12,54 | 0,003-0,03 | 0,13- 1,23 | 0,08-2,78 | 0,17- 5,33 | 0,07-12,03 |
| 2 | 5,73- 15,09 | 0,006-0,01 | 0,16- 0,37 | 0,13-0,32 | 2,00-5,75 | 1,45-3,09 |
| 3 | 0,39-7,61 | 0,0003-0,01 | 0-0,22 | 0-0,36 | 2,50-8,00 | 2,56-7,13 |
| 4 | 3,42-12,04 | 0,004-0,04 | 0,07-0,30 | 0,05-1,10 | 0,75-8,33 | 2,09-21,42 |
| 5 | 6,51-13,63 | 0,001-0,004 | 0-0,05 | 0-0,03 | 0,044 | 0-0,22 |
| 6 | 5,92-15,75 | 0,0004-0,005 | 0,10-0,49 | 0,01-0,15 | 0,22-2,22 | 0,02-0,68 |
| 7 | 11,36-32,42 | 0,001-0,02 | 0,10-1,31 | 0,01-0,63 | 0,22-4,78 | 0,05-2,31 |
| 8 | 12,30-14,83 | 0,001-0,001 | 0,07-0,11 | 0,004-0,01 | 1,11-1,56 | 0,09-0,10 |
| 9 | 11,23-11,23 | 0,003-0,003 | 0,26-0,26 | 0,06-0,06 | 1,11-1,11 | 0,27-0,27 |
| 10 | 15,15-45,91 | 0,006-0,03 | 0,14-0,43 | 0,08-0,41 | 0-2,44 | 0-2,68 |
| 11 | 13,14-20,56 | 0,01-0,02 | 0,09-0,16 | 0,09-0,17 | 0-2,44 | 0-1,45 |
| 12 | 17,78-85,40 | 0,01-0,29 | 0,15-0,94 | 0,09-3,19 | 0,89-8,80 | 0,59-43,09 |
| 13 | 11,59-25,22 | 0,01-0,08 | 0,04-0,21 | 0,02-0,73 | 0-3,80 | 0-12,98 |
| 14 | 30,36-103,47 | 0,27-0,97 | 0,42-1,24 | 4,45-11,55 | 21,83-70,00 | 292,89-654,40 |

Saliente-se que os eventos mais longos, com $P_{total} > 30$ mm (eventos 1, 4, 13 e 14) e coeficientes de escorrência elevados geraram as maiores exportações de nutrientes e sedimentos, sendo essas exportações mais acentuadas para o NT e sedimentos. Por sua vez, os eventos com baixos coeficientes de escorrência (eventos 2, 3, 6, 7, 8, 9 e 10)

geraram, no geral, as menores exportações de nutrientes e sedimentos. De realçar que picos com concentrações de nutrientes e sedimentos mais elevadas nem sempre geraram exportações elevadas, assim como picos com exportações mais elevadas nem sempre têm origem em concentrações elevadas.

RODRÍGUEZ-BLANCO (2009) verificou, num estudo numa bacia agroflorestal na Galiza, que os picos estão mais associados a precipitações de longa duração do que a eventos de curta duração e elevada intensidade. O facto do evento 5 (evento com duração de 25 horas) ter gerado um pico de menor exportação pode ser explicado pela precipitação e intensidade máxima baixas, assim como pela baixa humidade do solo, que poderá ter promovido processos de infiltração ($P_{\text{antecedente}}$ baixa). Os eventos 7 e 9, apesar da longa duração e da intensidade elevada, geraram exportação de sedimentos e nutrientes pouco acentuada. Isto pode estar relacionado com o facto do coeficiente de escorrência ter sido baixo. O evento 12, apesar de ser o evento de duração mais curta e da $P_{\text{total}} < 30$ mm, foi o que gerou maior coeficiente de escorrência, possivelmente devido à saturação do solo. Como consequência, a exportação de sedimentos e nutrientes aumentou consideravelmente.

Na Tabela 8 é possível encontrar gamas de valores das concentrações de azoto, obtidas noutro estudo, nas formas de nitratos e nitritos dissolvidos durante os escoamentos de cheia e basal. Maioritariamente, as concentrações de azoto são superiores durante o escoamento de cheia, tal como acontece no presente trabalho, no entanto neste estudo essas diferenças são mais acentuadas. À semelhança do que acontece à escala de parcela, a comparação entre ambos os estudos é limitada.

Tabela 8 – Gama de valores das concentrações de nutrientes segundo FERREIRA (1996)

| Bacia | Área (km ²) | Usos do solo | | NO ₂ ⁻ (mg/L) | NO ₃ ⁻ (mg/L) |
|---------------|-------------------------|---|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Barrosa | 0,33 | Pinus pinaster Ait regenerado após incêndio e corte | Escoamento de cheia | 0,001-0,007 | 0-0,1 |
| | | | Escoamento de base | 0,001-0,011 | 0-1 |
| Lourizela | 1,1 | Pinus pinaster Ait adulto 1º ano após incêndio | Escoamento de cheia | 0,001-0,115 | 0,1-1,5 |
| | | | Escoamento de base | 0,002-0,023 | 0,1-1,2 |
| Lourizela | 1,1 | Pinus pinaster Ait adulto 2º ano após incêndio | Escoamento de cheia | 0,001-0,7 | 0-1,3 |
| | | | Escoamento de base | 0,001-0,012 | 0-0,8 |
| Falgorosa | 0,65 | <i>Eucalyptus globulus</i> | Escoamento de cheia | 0,002-0,008 | 0-0,3 |
| | | | Escoamento de base | 0,001-0,012 | 0-0,1 |
| Sernadinha | 0,33 | <i>Eucalyptus globulus</i> regenerado após incêndio e corte | Escoamento de cheia | 0,001-0,008 | 0 |
| | | | Escoamento de base | 0,001-0,018 | 0-0,1 |
| Serra de Cima | 0,51 | <i>Eucalyptus globulus</i> plantado após lavragem | Escoamento de cheia | 0,001-0,01 | 0-0,1 |
| | | | Escoamento de base | 0-0,014 | 0-0,2 |

Relações ente as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados durante o caudal de base em ambas as bacias

Os parâmetros estudados à escala de bacia e durante o escoamento basal não apresentam uma distribuição normal e, como tal, os coeficientes apresentados são os coeficientes de correlação de Spearman. À semelhança do que aconteceu à escala de parcela, a bacia de pinhal (bacia de Lourizela) registou as melhores relações. Nas Tabelas 9 e 10 é possível visualizar as correlações entre os diferentes parâmetros estudados para as bacias de Serra de Cima e Lourizela, respetivamente.

Tabela 9 – Correlações de Spearman entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados durante o escoamento basal em Serra de Cima.

| | PT Serra de Cima (g/ha) | NT Serra de Cima (g/ha) | SST Serra de Cima (g/ha) | P _{total} (mm) | I _{máx} (mm/h) |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Q Serra de Cima (L/s) | 0,77 | -0,12 | 0,39 | 0,37 | 0,30 |
| p-value | <0,01 | 0,61 | 0,09 | 0,09 | 0,18 |
| PT Serra de Cima (g/ha) | | 0,02 | 0,33 | 0,54 | 0,5 |
| p-value | | 0,93 | 0,15 | <0,05 | <0,05 |
| NT Serra de Cima (g/ha) | | | 0,47 | 0,04 | 0,04 |
| p-value | | | <0,05 | 0,86 | 0,85 |
| SST Serra de Cima (g/ha) | | | | 0,06 | 0,14 |
| p-value | | | | 0,79 | 0,54 |
| P _{total} (mm) | | | | | 0,94 |
| p-value | | | | | <0,01 |

Na bacia de Serra de Cima, registou-se uma forte relação positiva entre caudal e perdas de PT, para um intervalo de confiança superior a 99%. A relação entre caudal e perdas de NT foi fraca negativa, para um erro acima dos 60%. As restantes relações foram, no geral, fracas positivas e com um erro associado elevado, à exceção da relação entre precipitação e intensidade máxima, que foi forte positiva e com erro associado mínimo. Relativamente à bacia de Lourizela, as relações entre perdas de nutrientes e caudal e perdas de nutrientes e sedimentos foram fortes positivas, para um nível de confiança acima dos 99%. As restantes relações foram, à semelhança de Serra de Cima, fracas e com um erro associado elevado.

O facto da relação entre sedimentos e nutrientes mobilizados durante o escoamento basal não ter sido muito significativa (no caso de Serra de Cima) pode estar associado ao facto da quantidade de sedimentos nestas condições ter sido muito baixa e o volume amostrado ter sido, consequentemente, insuficiente, aumentando o erro associado, ou as exportações de nutrientes, durante o escoamento basal, não se encontrarem ligadas à forma particulada, estando possivelmente na forma dissolvida.

As concentrações de nutrientes durante o escoamento basal, à semelhança do que acontece à escala de parcela, apresentaram correlações negativas mas, neste caso, pouco significativas com o escoamento

Tabela 10 – Correlações de Spearman entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados durante o escoamento basal em Lourizela.

| | PT Lourizela (g/ha) | NT Lourizela (g/ha) | SST Lourizela (g/ha) | P _{total} (mm) | I _{máx} (mm/h) |
|-------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Q Lourizela (L/s) | 0,87 | 0,77 | 0,79 | 0,23 | 0,14 |
| p-value | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,30 | 0,55 |
| PT Lourizela (g/ha) | | 0,76 | 0,79 | 0,10 | 0,04 |
| p-value | | <0,01 | <0,01 | 0,65 | 0,85 |
| NT Lourizela (g/ha) | | | 0,56 | -0,07 | -0,23 |
| p-value | | | <0,05 | 0,76 | 0,32 |
| SST Lourizela (g/ha) | | | | 0,06 | 0,02 |
| p-value | | | | 0,80 | 0,94 |
| P _{total} (mm) | | | | | 0,94 |
| p-value | | | | | <0,01 |

Relações entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados durante os picos de cheia em Serra de Cima

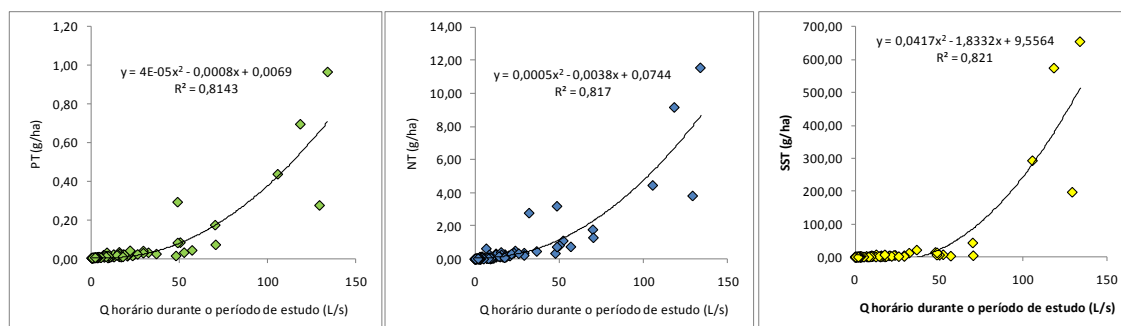
A intensidade média e a precipitação total foram os únicos parâmetros que apresentaram distribuição normal e, como tal, os únicos a que se recorreu ao coeficiente de correlação de Pearson. Das relações entre esses parâmetros obtiveram-se relações fracas, com erro acima dos 40%. Fazendo uma análise à Tabela 11, verifica-se que as relações, durante os picos de cheia na bacia de Serra de Cima, entre perdas de nutrientes e precipitação e sedimentos e precipitação não foram muito significativas com erro inferior a 6%. Percebe-se, ainda, que as relações entre perdas de nutrientes e intensidades média e máxima não foram muito significativas, com um erro entre os 5 e os 30%. O mesmo acontece com as perdas de SST. Os restantes parâmetros apresentaram fortes relações positivas com as perdas de nutrientes e de sedimentos, para um erro inferior a 5%. Para os picos de cheia, as relações entre as concentrações de nutrientes e escoamento apresentaram valores positivos e significativos.

Tabela 11 – Correlações de Spearman entre as perdas de nutrientes e os diferentes parâmetros estudados durante os picos de cheia em Serra de Cima.

| | $I_{\text{méd}}$ (mm/h) | $I_{\text{máx}}$ (mm/h) | $Q_{\text{méd}}$ (L/s) | $Q_{\text{máx}}$ (L/s) | V_{esc} (mm) | Q_{base} (L/s) | C_{Esc} (%) | PT (g/ha) | NT (g/ha) | SST (g/ha) |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------|--------------|---------------|
| P_{total} (mm) | 0,37 | 0,42 | 0,45 | 0,49 | 0,39 | 0,47 | 0,17 | 0,60 | 0,65 | 0,52 |
| p-value | 0,19 | 0,13 | 0,11 | 0,07 | 0,16 | 0,09 | 0,56 | <0,05 | <0,05 | 0,06 |
| $I_{\text{méd}}$ (mm/h) | | 0,82 | 0,36 | 0,41 | 0,17 | 0,25 | 0,11 | 0,39 | 0,51 | 0,60 |
| p-value | | <0,01 | 0,20 | 0,14 | 0,54 | 0,38 | 0,70 | 0,17 | 0,06 | <0,05 |
| $I_{\text{máx}}$ (mm/h) | | | 0,23 | 0,25 | 0,15 | 0,18 | 0,06 | 0,29 | 0,37 | 0,34 |
| p-value | | | 0,42 | 0,38 | 0,61 | 0,53 | 0,83 | 0,30 | 0,19 | 0,23 |
| $Q_{\text{méd}}$ (L/s) | | | | 0,99 | 0,93 | 0,96 | 0,89 | 0,94 | 0,86 | 0,92 |
| p-value | | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| $Q_{\text{máx}}$ (L/s) | | | | | 0,93 | 0,96 | 0,87 | 0,95 | 0,89 | 0,93 |
| p-value | | | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| V_{esc} (mm) | | | | | | 0,98 | 0,96 | 0,89 | 0,77 | 0,78 |
| p-value | | | | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Q_{base} (L/s) | | | | | | | 0,93 | 0,93 | 0,81 | 0,85 |
| p-value | | | | | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| C_{Esc} (%) | | | | | | | | 0,79 | 0,63 | 0,71 |
| p-value | | | | | | | | <0,01 | <0,05 | <0,01 |
| PT (g/ha) | | | | | | | | | 0,93 | 0,88 |
| p-value | | | | | | | | | <0,01 | <0,01 |
| NT (g/ha) | | | | | | | | | | 0,90 |
| p-value | | | | | | | | | | <0,01 |

Estimativas da exportação de nutrientes e sedimentos nas bacias em estudo e para o período de estudo

De modo a apresentar as quantidades totais de nutrientes e sedimentos exportadas pelas bacias, procedeu-se ao cálculo de estimativas horárias ao longo do período de estudo. Para Serra de Cima, procedeu-se a uma estimativa com recurso a uma relação polinomial entre caudal e perdas de nutrientes e entre caudal e perdas de sedimentos (Figura 24).


Figura 24 – Gráficos com relação polinomial entre caudal horário, perdas de nutrientes e sedimentos em Serra de Cima durante o período de estudo.

Uma vez que o estudo dos picos de cheia se cingiu à bacia de Serra de Cima, e de forma a calcular igualmente as estimativas na bacia de Lourizela, procedeu-se a uma relação entre as perdas de nutrientes e sedimentos nas bacias de Serra de Cima e Lourizela, utilizando as quatro amostragens manuais realizadas durante picos de cheia nas duas bacias. Na falta de outra informação para a comparação do comportamento das duas bacias durante as cheias, estabeleceu-se uma relação entre as exportações de nutrientes e de sedimentos nas duas bacias para fazer uma estimativa, ainda que grosseira das exportações em Lourizela.

$$PT_{\text{Lourizela}} = 1,93 \times PT_{\text{Serra de Cima}} (R^2 = 0,985)$$

$$NT_{\text{Lourizela}} = 3,117 \times NT_{\text{Serra de Cima}} (R^2 = 0,971)$$

$$SST_{\text{Lourizela}} = 0,964 \times SST_{\text{Serra de Cima}} (R^2 = 0,776)$$

Na Tabela 12 encontram-se as estimativas, durante os picos de cheia, das perdas de nutrientes e sedimentos ao longo do período de estudo e para ambas as bacias. Analisando a tabela, verifica-se que o evento 14 foi o evento que exportou mais nutrientes e sedimentos durante o período de estudo, sendo esses valores mais elevados na bacia de Lourizela.

Tabela 12 – Estimativas da exportação de nutrientes e sedimentos nos picos de ambas as bacias para o período de estudo.

| Evento/Data | Total exportado em cada pico (g/ha) | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| | Serra de Cima | | | Lourizela | | |
| | PT | NT | SST | PT | NT | SST |
| 1 - 21 a 22/11/11 8:30 às 9:11 | 0,29 | 5,71 | 13,68 | 0,57 | 17,79 | 13,19 |
| 2 - 10/12/11 2:32 às 8:54 | 0,07 | 1,07 | 48,19 | 0,13 | 3,32 | 46,44 |
| 3 - 10/12/11 16:00 às 23:59 | 0,24 | 4,75 | 2,18 | 0,46 | 14,82 | 2,10 |
| 4 - 13 a 14/12/11 6:01 às 12:58 | 0,74 | 12,64 | 121,23 | 1,43 | 39,4 | 116,83 |
| 5 - 1 a 2/1/12 18:30 às 22:00 | 0,17 | 2,67 | 136,29 | 0,33 | 8,31 | 131,35 |
| 6 - 3/3/12 7:44 às 22:52 | 0,10 | 1,41 | 117,97 | 0,20 | 4,39 | 113,69 |
| 7 - 13 a 14/4/12 11:18 às 17:39 | 0,15 | 2,08 | 158,00 | 0,28 | 6,48 | 152,26 |
| 8 - 17 a 17/4/12 9:15 às 18:29 | 0,09 | 1,22 | 122,87 | | | |
| 9 - 18 a 19/4/12 6:17 às 0:34 | 0,20 | 2,72 | 227,86 | 0,38 | 8,48 | 219,59 |
| 10 - 19 a 20/4/12 20:33 às 13:00 | 0,09 | 1,83 | 20,53 | 0,18 | 5,70 | 19,79 |
| 11 - 20 a 21/4/12 19:04 às 16:12 | 0,40 | 8,27 | 3,62 | 0,78 | 26,77 | 3,49 |
| 12 - 25/4/12 10:00 às 15:48 | 1,73 | 28,26 | 407,40 | 3,35 | 88,09 | 392,61 |
| 13 - 1 a 2/5/12 11:02 às 22:41 | 0,67 | 11,25 | 90,87 | | | |
| 14 - 3 a 4/5/12 17:29 às 10:42 | 4,10 | 57,21 | 2859,36 | 7,93 | 178,31 | 2755,56 |
| Total exportado | 9,03 | 141,07 | 4330,07 | 16,00 | 400,85 | 3966,90 |

Estima-se que, para o período de estudo, e durante os picos de cheia, tenham sido exportadas 9,03 g/ha de PT, 141,07 g/ha de NT, 4330,07 g/ha de SST em Serra de Cima e 16,00 g/ha de PT, 400,85 g/ha de NT e 3966,90 g/ha de SST em Lourizela.

Na Tabela 13 e Figura 25 é possível visualizar as estimativas durante o período de estudo, envolvendo o escoamento basal e os picos de cheia. Estima-se que, para o

período de estudo, tenham sido exportadas 32 g/ha de PT, 467 g/ha de NT e 30046 g/ha de SST em Serra de Cima e 63 g/ha de PT, 1457 g/ha de NT, 28956 g/ha de SST em Lourizela.

Tabela 13 – Estimativas da exportação de nutrientes e sedimentos durante o período de estudo e para ambas as bacias.

| Mês | Total exportado (g/ha) | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------|--------------|-----------|-------------|--------------|
| | Serra de Cima | | | Lourizela | | |
| | PT | NT | SST | PT | NT | SST |
| Outubro | 1,1 | 12,5 | 1413,5 | 2,1 | 39,0 | 1362,2 |
| Novembro | 3,7 | 57,2 | 2918,1 | 7,1 | 178,4 | 2812,2 |
| Dezembro | 3,7 | 72,1 | 1740,1 | 7,1 | 224,8 | 1677,0 |
| Janeiro | 3,9 | 50,9 | 4054,5 | 7,5 | 158,7 | 3907,3 |
| Fevereiro | 4,5 | 50,4 | 5901,1 | 8,7 | 156,9 | 5686,9 |
| Março | 4,9 | 54,0 | 6501,5 | 9,4 | 168,3 | 6265,5 |
| Abril | 5,2 | 84,9 | 4216,5 | 10,1 | 264,7 | 4063,4 |
| Maio | 5,5 | 85,4 | 3301,0 | 10,6 | 266,2 | 3181,2 |
| Total exportado | 32 | 467 | 30046 | 63 | 1457 | 28956 |

De realçar que os meses de outubro e de maio encontram-se incompletos, sendo o mês de outubro aquele que revelou os valores mais baixos das estimativas das exportações de nutrientes e sedimentos. Apesar de se encontrar incompleto, o mês de maio foi aquele em que as exportações de NT e PT foram maiores, possivelmente devido ao elevado caudal registado nesse período. Para as exportações de PT, verifica-se que estas apresentam variações muito pouco significativas nos meses de novembro, dezembro e janeiro e para ambas as bacias. As exportações de PT tendem a seguir o mesmo comportamento que as exportações de sedimentos nos meses de fevereiro e março, o que sugere que o PT está ligado aos SST. Verifica-se também uma subida gradual, ainda que pequena, nas exportações de PT, apesar de nos meses de fevereiro e março registarem-se dos caudais mais baixos. A baixa precipitação nos meses de fevereiro e março pode estar também na origem da subida gradual do PT, uma vez que em quantidades mínimas ou inexistentes pode aumentar a disponibilidade de nutrientes para serem lavados. As exportações de NT têm comportamento diferente, sendo mais acentuadas nos meses de dezembro, abril e maio, comportando-se de forma muito semelhante à evolução do caudal durante o período de estudo. As exportações de sedimentos foram mais elevadas nos meses de fevereiro e março, meses em que o caudal registado apresentou dos valores mais baixos durante o período de estudo.

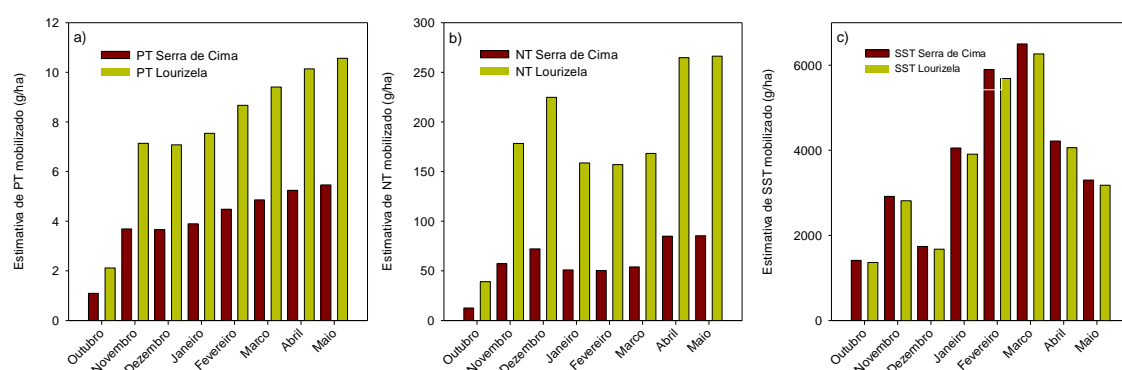


Figura 25 – Evolução estimada da exportação de nutrientes com o caudal médio ao longo dos meses de estudo.

Os valores das estimativas de exportação de nutrientes podem variar consideravelmente de umas regiões para outras e para diferentes usos do solo (Tabela 14).

Tabela 14 – Valores da exportação de nutrientes registados pela bibliografia consultada.

| Referência | Localização | Bacia | Área (km ²) | Uso do solo | NT (kg/ha.ano) | PT (kg/ha.ano) |
|-----------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|---|----------------|----------------|
| (CHEN et al., 2011)* | Sudoeste da China | Wuchuan | 1,88 | Agrícola | 67,10 | - |
| (OYARZÚN et al., 2003) | Sul do Chile | Bacias do lago Rupanco | 1,58-9,11 | Agrícola/Florestal | 13,9/7,9 | - |
| (OYARZÚN et al., 2003) | Sul do Chile | Bacias do lago Hullinco | 9,7-24,1 | Agrícola/Florestal | 1,8/3,5 | - |
| (VUORENMAA et al., 2002)** | Sul da Finlândia | Várias | 0,07-21,70 | Agrícola/Florestal | 15/2,5 | 1,1/0,09 |
| (BECHMANN et al., 2008) | Noruega | 8 bacias | 0,65-28,3 | Agrícola/Pecuária | 10-77 | 0,156-6,5 |
| (COX et al., 2012) | Sul da Austrália | 3 bacias | 0,08-1,65 | Agrícola | 0,09-33,1 | 0,01-0,19 |
| (HOLLINGER et al., 2001)*** | Austrália | Hawkesbury-Nepean | 25 | Agrícola | 127 | 11 |
| (VAGSTAD et al., 2000) | Estónia e Letónia | 4 bacias | 2,57-8 | Agrícola/Pecuária | 13-127 | 0,16-4,8 |
| (O'REAGAN et al., 2005)**** | Austrália | 5 bacias | 0,01 | Pastagens para criação de gado | 0,296 | 0,014 |
| (RODRÍGUEZ-BLANCO, 2009) | Norte de Espanha | Corbeira | 16 | Agroflorestal | | 0,07-0,18 |
| (OLLESCH et al., 2008)***** | Rússia | Lubazhinka | 18,8 | Florestal | - | 0,03-0,35 |
| (FERREIRA, 1996)***** | Portugal | Serra de Cima | 0,52 | Eucaliptal plantado e lavrado após incêndio | 0,056 | - |
| (FERREIRA, 1996)***** | Portugal | Lourizela | 1,1 | Pinhal regenerado após incêndio | 2,519 | - |

*25% Escoamento de base e 75% eventos de precipitação

** Maioritariamente em condições de escoamento de base

*** Exportação registadas nos eventos de precipitação

**** Valor obtido por evento

***** Condições de degelo

***** NO₃⁻ + NO₂⁻ exportados sob forma dissolvida

Analisando as estimativas obtidas durante o período de estudo com os valores existentes na bibliografia, verifica-se que as exportações de nutrientes no presente estudo são inferiores às observadas na bibliografia, nomeadamente quando comparadas com as

exportações em áreas agrícolas, sendo estas mais elevadas para o NT. Para usos do solo de tipo florestal, verifica-se que os valores estimados neste estudo são relativamente próximos, principalmente para o PT. Para a mesma área de estudo do presente trabalho mas pós-fogo, FERREIRA (1996) apresenta valores de exportação de azoto sob as formas de NO_3 e NO_2 dissolvidas muito próximos aos do presente trabalho em floresta não ardida. Verifica-se, ainda, que pastagens naturais exportaram quantidades de PT muito próximas do obtido no presente estudo. É importante referir que, apesar do estudo não contemplar o ano hidrológico completo, as estimativas de exportação de nutrientes aproximam-se consideravelmente dos valores com o ano hidrológico completo, uma vez que a partir do fim do período de estudo a precipitação foi escassa e as bacias em estudo apresentam sistemas de drenagem intermitentes e secam durante o verão.

As estimativas para PT, neste trabalho, foram de 0,032 kg/ha-ano no eucaliptal e de 0,063 kg/ha-ano para o pinhal. Comparando estes valores com os coeficientes de exportação de fósforo total existentes na literatura pode observar-se que os valores existentes para florestas (Tabela 15) estão na mesma ordem de magnitude, não sendo possível uma exaustiva comparação devido à não especificação do tipo de floresta na maioria das referências consultadas. No caso do valor obtido para o PT no pinhal verifica-se que este é claramente inferior ao obtido por MCFARLAND et al. (2001) numa floresta de coníferas, possivelmente devido às características especiais do período em que decorreu este estudo, dado que, tratando-se de um ano muito seco, se torna difícil a sua comparação.

Tabela 15 – Coeficientes de exportação de azoto e fósforo total segundo diferentes autores (Fonte: RIAL-RIVAS (2007)).

| Uso do solo | PT (kg/ha-ano) | NT (kg/ha-ano) | Referencia |
|---------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
| Campos adubados | 0,8 – 2,9 | 4,0 - 13 | (LOEHR et al., 1989) |
| Campos adubados | 15 – 12,30 | 6,6 – 99,8 | (OVERCASH et al., 1983) |
| Campos adubados (bovino) | 5,46 | 12,3 | (MCFARLAND et al., 2001) |
| Culturas não em fila | 0,1 – 2,9 | 1,0 – 7,8 | (RECKHOW et al., 1980) |
| Campos forragem | 1,04 | 5,4 | (MCFARLAND et al., 2001) |
| Zona arável | 3,83 – 6,11 | | (MCGUCKIN et al., 1999) |
| Zona arável | 0,37 – 2,64 | | (CATT et al., 1998) |
| Zona arável | 0,8 – 2,50 | | (MARSDEN et al., 1995) |
| Zona arável | 0,65 – 0,80 | | (JOHNES et al., 1994) |
| Zona arável | 0,5 – 5,0 | | (COOKE, 1976) |
| Floresta | 0,01 – 0,88 | 1,0 – 6,3 | (LOEHR et al., 1989) |
| Floresta de coníferas | 0,33 | | (MCFARLAND et al., 2001) |
| Floresta | 0,06 – 0,25 | | (FERRIER et al., 1996) |
| Floresta | 0,01 – 0,06 | | (OCDE, 1972) |
| Floresta | 0,02 | | (JOHNES et al., 1994) |
| Floresta | 0,2 | 0,6 | (MCFARLAND et al., 2001) |
| Pousio | 0,05 – 0,25 | 0,5 – 6,0 | (LOEHR et al., 1989) |
| Pastagens naturais | 0,02 – 1,86 | 0,2 – 9,2 | (MENZEL et al., 1978) |
| Pastagens naturais | 0,01 – 0,25 | 0,2 – 1,7 | (TIMMONS et al., 1977) |
| Pradarias não melhoradas | 0,9 | | (MCFARLAND et al., 2001) |
| Pastagens | 0,2 | | (COOKE, 1976) |
| Pastagens | 0,22 | | (OCDE, 1972) |
| Pastagens | 0,2 – 0,3 | | (KOLENBRANDER, 1972) |
| Pastagens | 3 | | (HAYGARTH et al., 1997) |
| Pradarias melhoradas | 0,8 | | (MCGUCKIN et al., 1999) |
| Pastagens | 0,81 | | (NRA., 1996) |
| Pastagens | 0,05 – 0,6 | 3,2 - 14 | (LOEHR et al., 1989) |
| Pradarias melhoradas | 0,4 – 1,0 | | (MARSDEN et al., 1995) |
| Pradarias melhoradas | 0,1 – 0,8 | | (JOHNES et al., 1994) |
| Urbano | 0,30 – 3,7 | 4,7 - 25 | (LOEHR et al., 1989) |
| Urbano | 2,23 | 10 | (MCFARLAND et al., 2001) |

Para o NT, as estimativas realizadas no presente trabalho foram de 0,467 kg/ha-ano no eucaliptal e de 1,457 kg/ha-ano para o pinhal, sendo também da mesma ordem de grandeza das existentes na bibliografia (LOEHR et al., 1989, MCFARLAND et al., 2001) para floresta.

Conclusões

Os resultados obtidos mostraram diferenças na exportação de nutrientes em solos com usos distintos, tanto à escala de bacia como à escala de parcela, sendo, à escala de parcela, a floresta de pinhal a que apresentou maiores perdas de nutrientes e sendo o NT o nutriente mais mobilizado. De realçar que as características especiais do ano estudado, um ano muito seco com uma precipitação abaixo da média registada na área de estudo, podem condicionar os resultados obtidos, sendo as exportações estimadas pouco representativas de um ano médio na área de estudo.

À escala de parcela as perdas de nutrientes e sedimentos foram mais acentuadas nas parcelas de pinhal, com uma variação entre 0,01-0,38 g/ha de PT, 0,22-9,99 g/ha NT e 1,26-97,50 g/ha de SST para as parcelas de eucaliptal e 0,01-0,72 g/ha de PT, 0,23-14,55 g/ha NT e 1,36-110 g/ha de SST para as parcelas de pinhal. Observou-se que o aumento da exportação de nutrientes entre amostragens está associado a coeficientes de escorrência mais elevados, que podem estar relacionados com as elevadas condições de humidade do solo e consequente saturação, ou ainda com condições de humidade do solo muito baixas onde as características hidrofóbicas se manifestam. Estes dois fatores mostraram um comportamento diferente nos dois tipos de floresta e daí as principais diferenças entre as exportações de nutrientes observadas. As perdas de nutrientes apresentaram também uma forte relação com as perdas de sedimentos, sendo estas mais significativas no caso do PT, o que sugere que a exportação deste poderá estar predominantemente associada aos eventos mais erosivos. A diminuição da exportação de nutrientes na escorrência superficial está relacionada com coeficientes de escorrência mais baixos, provenientes de condições de humidade que permitem processos de infiltração.

À escala de bacia, e durante o escoamento basal as perdas de nutrientes e sedimentos foram muito baixas. À semelhança do que acontece à escala de parcela, as perdas durante o escoamento basal foram mais acentuadas na bacia de pinhal, apresentando medianas de 0,0004 g/ha de PT, 0,001 g/ha NT e 0,14 g/ha de SST para a bacia de eucaliptal e 0,001 g/ha de PT, 0,006 g/ha NT e 0,19 g/ha de SST para a bacia de pinhal. Para este período, foi também na bacia de pinhal que se registaram as melhores relações entre o valor do escoamento e as perdas de nutrientes e de sedimentos. Durante os picos de cheia em Serra de Cima, obteve-se a seguinte gama de valores: 0,0003-0,97 g/ha de

PT, 0-11,55 g/ha NT e 0-654,40 g/ha de SST, com medianas de 0,01 g/ha de PT 0,13 g/ha NT 2,02 g/ha de SST.

As amostragens manuais realizadas durante picos de cheia em ambas as bacias mostraram uma boa correlação e permitiram fazer uma estimativa ainda que grosseira da exportação de nutrientes para a bacia de pinhal. Estas relações devem ser melhoradas com um maior número de amostragens coincidentes nas duas bacias para se poder estabelecer correlações com o menor erro possível.

As estimativas da exportação de PT para a bacia dominada por eucaliptal foram de 0,032 kg/ha-ano e de 0,063 kg/ha-ano para a de pinhal. No caso do NT, foram de 0,467 kg/ha-ano para o eucaliptal e de 1,457 kg/ha-ano para o pinhal. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos existentes na bibliografia para florestas de outras partes do mundo. De realçar que, mais uma vez, os valores obtidos no presente trabalho não são representativos dum ano médio na área de estudo, devido às características hidrológicas do ano caracterizado, estando, possivelmente subestimados.

CAPITULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação tinha como objetivo principal quantificar as taxas de exportação de azoto e fósforo, nas formas totais (particulada e dissolvida), em florestas comerciais de eucalipto e pinhal não ardidas, através da escorrência superficial, às escalas de parcela e bacia, e avaliar a influência dos distintos tipos de floresta nas exportações de nutrientes.

Deste estudo conclui-se que a floresta de pinhal possui valores de exportação de nutrientes e sedimentos mais elevados, tanto à escala de parcela como à escala de bacia. Na origem deste fenómeno, além da diferença nos usos do solo, podem estar também as diferenças geométricas entre as duas bacias, como o declive mais acentuado, os índices de Gravelius, o factor forma e a densidade de drenagem, que são ligeiramente mais elevados na bacia de pinhal. No entanto, este estudo revela algumas limitações, como a de ter sido um ano hidrológico excepcionalmente seco e da não realização das amostragens durante os períodos de cheia em ambas as bacias. É preciso ter também em conta o facto de cada uma das bacias ter sido considerada como representativa de um uso do solo (eucalipto para Serra de Cima, e pinhal para Lourizela), estando na realidade as exportações de nutrientes alteradas pela interferência dos outros usos do solo existentes em cada uma das bacias.

De seguida são enumeradas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Aumento do número de parcelas de escorrência superficial;
- Amostragem simultânea de escorrência superficial e do fluxo subsuperficial;
- Amostragem dos picos de cheia na bacia de Lourizela;
- Criação de sub-bacias com um só tipo de floresta para amostragem do escoamento total;
- Estudo das componentes dissolvidas e das diferentes espécies de azoto e fósforo;
- Estudo pormenorizado dos nutrientes nos solos;
- Estudo alargado a mais anos hidrológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1999.

ARNOLD, J. G. ; SRINIVASAN, R. ; MUTTIAH, R. S. ; WILLIAMS, J. R. - LARGE AREA HYDROLOGIC MODELING AND ASSESSMENT PART I: MODEL DEVELOPMENT. JAWRA Journal of the American Water Resources Association Vol. 34, n.º 1 (1998), p. 73-89.

ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. - Nutrient cycling in forests. New Phytologist. Vol. 124 (1993), p. 561-582.

BECHMANN, M. ; DEELSTRA, J. ; STÅLNACKE, P. ; EGGESTAD, H.O. ; ØYGARDEN, L. ; PENDERUD, A. - Monitoring catchment scale agricultural pollution in Norway: policy instruments, implementation of mitigation methods and trends in nutrient and sediment losses. Environmental Science & Policy. Vol. 11, n.º 2 (2008), p. 102-114.

BORMANN, F. H.; LIKENS, G. E. - Nutrient cycling. Science. Vol. 155, n.º 3761 (1967), p. 424-429

BOULET, A. K. - Escoamento Superficial Nos Eucaliptais Da Serra Do Caramulo. Universidade de Aveiro, 2011.

BROWN, L.; SCHOLEFIELD, D.; JEWKES, E. C.; LOCKYER, D. R.; DEL PRADO, A. - NGAUGE: A decision support system to optimise N fertilisation of British grassland for economic and environmental goals. Agriculture, Ecosystems & Environment. ISSN 0167-8809. Vol. 109, n.º 1-2 (2005), p. 20-39.

CATT, J. A.; HOWSE, K. R.; FARINA, R.; BROCKIE, D.; TODD, A.; CHAMBERS, B. J.; HODGKINSON, R.; HARRIS, G. L.; QUINTON, JOHN N. - Phosphorus losses from arable land. Soil Use Manage. Vol. 14 (1998), p. 168-174.

CHANG, M. - Forest hydrology: an introduction to water and forests. 1ª Edição. 2003.

CHEN, N.; HONG, H. - Nitrogen export by surface runoff from a small agricultural watershed in southeast China: seasonal pattern and primary mechanism. Biogeochemistry. Vol. 106, n.º 3 (2011), p. 311-321.

CHERRY, K.A. ; SHEPHERD, M. ; WITHERS, P.J.A. ; MOONEY, S.J. - Assessing the effectiveness of actions to mitigate nutrient loss from agriculture: A review of methods. Science of The Total Environment. Vol. 406, n.º 1-2 (2008), p. 1-23.

COELHO, C. O. A. ; FERREIRA, A. J. D.; BOULET, A. K.; KEIZER, J.J. - Overland flow generation processes, erosion yields and solute loss following different intensity fires. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrology. Vol. 37 (2004), p. 233-240.

COOKE, G.W.- A review of the effects of agriculture on the chemical composition and quality of surface and underground waters. HMSO, Londres: Agriculture and Water Quality, 1976.

CORTEZ, N.; MADEIRA, M.- The effect of Eucalyptus globulus plantations on soil nutrient status: XVI Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Montpellier, França, 1998.

COSTA, J. B. - Caracterização e Constituição do Solo: 5ª edição. Lisboa, 2004.

COX, J. W. ; OLIVER, D. P. ; FLEMING, N. K. ; ANDERSON, J. S. - Off-site transport of nutrients and sediment from three main land-uses in the Mt Lofty Ranges, South Australia. Agricultural Water Management. Vol. 106 (2012), p. 50-59.

DAVISON, P. S.; WITHERS, P. J. A.; LORD, E. I.; BETSON, M. J.; STRÖMQVIST, J. - PSYCHIC – A process-based model of phosphorus and sediment mobilisation and delivery within agricultural catchments.

Part 1: Model description and parameterisation. Journal of Hydrology. ISSN 0022-1694. Vol. 350, n.º 3–4 (2008), p. 290-302.

DRA-CENTRO - Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga. 1ª fase, Análise e diagnóstico da situação de referência. Análise biofísica, Anexo 1. Lisboa, Portugal: 2002.

FERNANDES, L.; PESSOA, J.; AGUIAR, A.; CARRASQUINHO, I.; - Manual de Estacaria de Pinheiro bravo. Centro PINUS, 2007. ISBN/ISSN 978-972-98308-3-9.

FERNÁNDEZ, C. ; VEGA, J. A. ; FONTURBEL, T.- Water Yield And Nutrient Losses Via Streamflow After A High-Intensity Wildfire In A Small E. Globulus Watershed: Managed Forests In Future Landscapes Implications For Water And Carbon Cycles. Santiago de Compostela, Spain, 2011.

FERREIRA, A. J. D. - Processos hidrológicos e hidroquímicos em povoamentos de Eucalyptus globulus Labill. e Pinus pinaster Aiton. Aveiro: Universidade de Aveiro, 1996. Tese de Doutoramento.

FERREIRA, A. J. D.; COELHO, C. O. A.; BOULET, A. K.; LOPES, F. P. - Temporal patterns of solute loss following wildfires in central Portugal. International Journal of Wildland Fire. Vol. 14 (2005), p. 401-412.

FERREIRA, A. J. D.; COELHO, C.O.A. ; WALSH, R.P.D. ; SHAKESBY, R.A. ; CEBALLOS, A. ; DOERR, S.H. - Hydrological implications of soil water-repellency in Eucalyptus globulus forests, north-central Portugal. Journal of Hydrology. n.º 231-232 (2000), p. 165–177.

FERRIER, R.; MALCOM, A.; MCALLISTER, E.; MORRICE, J. - Hindcasting of inloch phosphorus concentrations based on land cover classification. MLURI, Aberdeen: 1996. SR95(06)F.

HAYGARTH, P.M. ; JARVIS, S.C. - Soil derived phosphorus in surface runoff from grazed grassland lysimeters. Water Research. Vol. 31, n.º 1 (1997), p. 140-148.

HEATHWAITE, A.L. ; FRASER, A.I. ; JOHNES, P.J. ; HUTCHINS, M. ; LORD, E. ; BUTTERFIELD, D. - The Phosphorus Indicators Tool: a simple model of diffuse P loss from agricultural land to water. Soil Use and Management Vol. 19, n.º 1 (2003), p. 1-11.

HOLLINGER, E ; CORNISH, P.S ; BAGINSKA, B ; MANN, R ; KUCZERA, G - Farm-scale stormwater losses of sediment and nutrients from a market garden near Sydney, Australia. Agricultural Water Management. Vol. 47, n.º 3 (2001), p. 227–241.

IFN5 - Relatório Final do 5.º Inventário Florestal Nacional. Direcção-Geral dos Recursos Florestais, 2006.

JOHNES, P.J. - Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modelling approach. Journal of Hydrology. Vol. 183 (1996), p. 323-349.

JOHNES, P.J.; MOSS, B.; PHILIPS, G.L. - Lakes - classification and monitoring. A strategy for the classification of lakes. Bristol: National Rivers Authority, 1994.

KOLENBRANDER, G.J. - Eutrophication from agriculture with special reference to fertiliser and animal wastes. 1972.

KREUTZWEISER, D. P. ; HAZLETT, P. W. ; GUNN, J. M. - Logging impacts on the biogeochemistry of boreal forest soils and nutrient export to aquatic systems: A review. Environmental Reviews. Vol. 16 (2008), p. 157-179.

LENCASTRE, A.; FRANCO, F.M. - Lições de Hidrologia. 3ª edição revista. Caparica, 2006. ISBN 9728152590.

LIMA, H.; CHAMBEL, A.; ALVES, J.; FRANCISCO, P.- Impacte da Cultura de Eucaliptos nos Recursos Hídricos Subterrâneos da Serra de Ossa: 4º Congresso da Água. Lisboa, 1998.

LIU, Y. ; TAO, Y. ; WAN, K.Y. ; ZHANG, G.S. ; LIU, D.B. ; XIONG, G.Y. ; CHEN, F. - Runoff and nutrient losses in citrus orchards on sloping land subjected to different surface mulching practices in the Danjiangkou Reservoir area of China. Agricultural Water Management. Vol. 110 (2012), p. 34–40.

LOEHR, R.C.; RYDING, S.O.; SONZOGNI, W.C. - Estimating the Nutrient Load to Waterbody: The Control of Eutrophication of Lades and Reservoirs. The Control of Eutrophication of Lades and Reservoirs. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Paris, France and The Parthenon Publishing Group, Park Ridge, New Jersey, 1989.

LORD, E.; SHEPHERD, M. ; SILGRAM, M. ; GOODLASS, G. ; GOODAY, R. ; ANTHONY, S.G. ; DAVISON, P. ; HODGKINSON, R. - Investigating the effectiveness of NVZ Action Programme measures: Development of a strategy for England Report for Defra Project No. NIT18. 2007.

MADEIRA, M.; CORTEZ, N.; AZEVEDO, A.; MAGALHÃES, M. C. ; RIBEIRO, C.; FABIÃO, A. - Capítulo 5 As plantações de eucalipto e o solo. In: ISAPRESS -: 2007. ISBN 978-972-8669-25-6,

MARSDEN, A.; MALCOLM, A.; TAYLOR, D. - Phosphorus, land use and slope – a GIS methodology for predicting phosphorus output from a catchment. (1995).

MCFARLAND, A.M.S.; HAUCK, L.M. - Determining nutrient export coefficients and source loading uncertainty using in-stream monitoring data. Journal of the American Water Resources Association. Vol. 37 (2001).

MCGUCKIN, S.O. ; JORDAN, C. ; SMITH, R.V. - Deriving phosphorus export coefficients for corine land cover types. Water Science and Technology. Vol. 39, n.º 12 (1999), p. 47-53.

MENZEL, R.G.; AL., ET - Variability of Annual Nutrient and Sediment Discharges in Runoff from Oklahoma Cropland and Rangeland. Journal of Environmental Quality. Vol. 7 (1978), p. 401 - 406.

MERINO, A. ; BALBOA, M.A. ; SOALLEIRO, R. RODRÍGUEZ ; GONZÁLEZ, J.G. ÁLVAREZ - Nutrient Exports Under Different Harvesting Regimes In Fast-Growing Forest Plantations In Southern Europe. Forest Ecology and Management. Vol. 207 (2005), p. 325–339.

NRA. - A Review of Methods for Assessing and Controlling Non-Point Sources of Phosphorus. 1996. 562/5/W.

NUNES, J. D.; GAZARINI, L.; MADEIRA, M. - Diversidade funcional em sistemas de montado: fluxo de nutrientes em *Quercus rotundifolia* Lam. Revista de Ciências Agrárias. ISSN 0871-018X. Vol. 30 (2007), p. 235-250.

O'REAGAIN, P.J. ; BRODIE, J. ; FRASER, G. ; BUSHELL, J.J. ; HOLLOWAY, C.H. ; FAITHFUL, J.W. ; HAYNES, D. - Nutrient loss and water quality under extensive grazing in the upper Burdekin river catchment, North Queensland. Marine Pollution Bulletin. Vol. 51, n.º 1–4 (2005), p. 37–50.

OCDE - Report of the Working Group on Fertilisers and Agricultural Waste Products. Paris: 1972.

OLLESCH, G.; DEMIDOV, V.; VOLOKITIN, M.; VOSKAMP, M.; ABBT-BRAUN, G.; MEISSNER, R. - Sediment and nutrient dynamics during snowmelt runoff generation in a southern Taiga catchment of Russia. Agriculture, Ecosystems & Environment. Vol. 126, n.º 3–4 (2008), p. 229–242.

OVERCASH, M.R.; HUMENIK, F.J.; MINER, J.R. - Livestock Waste Management. Boca Ratón, Florida: CRC Press, Inc., 1983.

OYARZÚN, C. E.; HUBER, A. - Nitrogen Export From Forested And Agricultural Watersheds Of Southern Chile. Gayana Bot. Vol. 60(1) (2003), p. 63-68.

- PEREIRA, E.; MADEIRA, M.; ABREU, F. G. - Nutrient concentrations and fluxes in the through-fall and stem-flow of *Fraxinus angustifolia* vahl Revista de Ciências Agrárias. ISSN 0871-018X. Vol. 32 (2009), p. 123-134.
- RAMOS, M.C. ; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. - Nutrient losses by runoff in vineyards of the Mediterranean Alt Penedès region (NE Spain). Agriculture, Ecosystems & Environment. Vol. 113, n.º 1-4 (2006), p. 356-363.
- RECKHOW, K.; BEAULAC, M.N.; SIMPSON, J.T. - Modeling Phosphorous Loading and Lake and Lake Response under Uncertainty: A Manual and Compilation of Export Coefficients. Washington, D.C.: 1980.
- RIAL-RIVAS, M. E. - Investigación dos procesos que regulan o caudal e a calidade das augas na bacia do río anllóns. Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela, 2007. Doutoramento.
- RODRÍGUEZ-BLANCO, M. L. - Estudio Integrado de Los Procesos De Escorrentía Y exportación De Sedimentos Y Fósforo En Una Cuenca Rural. Universidad de A Coruña, 2009. Tese de Doutoramento.
- RODRÍGUEZ-BLANCO, M. L.; CASTRO, M. M. T.; CASTRO, M. T. T.; MOTA, J. L. O. - Nutrient Dynamics during Storm Events in an Agroforestry Catchment. Communications in Soil Science and Plant Analysis. Vol. 40 (2009), p. 889-900.
- SEITZINGER, S. P.; HARRISON, J. A.; DUMONT, EGON; BEUSEN, ARTHUR H. W.; BOUWMAN, A. F. - Sources and delivery of carbon, nitrogen, and phosphorus to the coastal zone: An overview of Global Nutrient Export from Watersheds (NEWS) models and their application. Global Biogeochem. Cycles. ISSN 0886-6236. Vol. 19, n.º 4 (2005), p. GB4S01.
- SHARPLEY AN; SJ., SMITH - Prediction of soluble phosphorus transport in agricultural runoff. Journal of Environmental Quality. Vol. 18 (1989), p. 313 - 316.
- SILVA, JOAQUIM SANDE - Pinhais e eucaliptais: a floresta cultivada. Lisboa, 2007.
- SMITH, H. G.; HOPMANS, P.; SHERIDAN, G. J. ; LANE, P. N.J.; NOSKE, P. J.; BREN, L. J. - Impacts of wildfire and salvage harvesting on water quality and nutrient exports from radiata pine and eucalypt forest catchments in south-eastern Australia. Forest Ecology and Management. Vol. 263 (2012), p. 160-169.
- SMITH, K.A ; JACKSON, D.R ; PEPPER, T.J - Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. 1. Nitrogen. Environmental Pollution. Vol. 112, n.º 1 (2001a), p. 41-51.
- SMITH, K.A. ; JACKSON, D.R. ; WITHERS, P.J.A. - Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. 2. Phosphorus. Environmental Pollution. Vol. 112, n.º 1 (2001b), p. 53-60.
- SMITH, S.J.; SHARPLEY, A.N; AHUJA, L.R. - Agricultural chemical discharge in surface water runoff. J. Environ. Vol. 22 (1993), p. 474-80.
- SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos [em linha]. [Consult. 7 de Fevereiro de 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://snirh.pt/>>.
- SOARES, J. - Florestas e eucaliptos Mitos e realidades, grupo Portucel Soporcel [em linha]. Lisboa: SEMAPA. [Consult. 1 de Maio de 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://backoffice.portucelsoporcel.net/dynamic-media/files/apresentacao-floresta-eucaliptos-autor-eng-joao-soares.pdf>>.
- THOMAS, A. D.; WALSH, R. P. D.; SHAKESBY, R. A. - Nutrient losses in eroded sediment after fire in eucalyptus and pine forests in the wet Mediterranean environment of northern Portugal. Catena. ISSN 0341-8162. Vol. 36, n.º 4 (1999a), p. 283-302.

THOMAS, A. D.; WALSH, R. P. D.; SHAKESBY, R. A. - Nutrient losses in eroded sediment after fire in eucalyptus and pine forests in the wet Mediterranean environment of northern Portugal. Catena. Vol. 36 (1999b), p. 283-302.

THOMAS, A. D.; WALSH, R. P. D.; SHAKESBY, R. A. - Post-fire forestry management and nutrient losses in eucalyptus and pine plantations, northern Portugal. Land Degradation & Development. Vol. 11 (2000a), p. 257-271.

THOMAS, A. D.; WALSH, R. P. D.; SHAKESBY, R. A. - Solutes in overland flow following fire in eucalyptus and pine forests, northern Portugal. Hydrological Processes. Vol. 14 (2000b), p. 971-985.

TIMMONS, D.R.; HOLT, R.F. - Nutrient Losses in Surface Runoff from a Native Pasture. Journal of Environmental Quality. Vol. 6 (1977), p. 369 - 373.

VAGSTAD, N.; JANSON, V. ; LOIGU, E.; DEELSTRA, J. - Nutrient losses from agricultural areas in the Gulf of Riga drainage basin. Ecological Engineering. Vol. 14, n.º 4 (2000), p. 435-441.

VARENNE, A. - Produtividade dos solos e ambiente. Escolar editora. (2003).

VUORENMAA, J. ; REKOLAINEN, S. ; LEPISTÖ, A.; KENTTÄMIES, K.; KAUPPILA, P. - Losses Of Nitrogen And Phosphorus From Agricultural And Forest Areas In Finland During The 1980s And 1990s. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 76 (2002), p. 213-248.

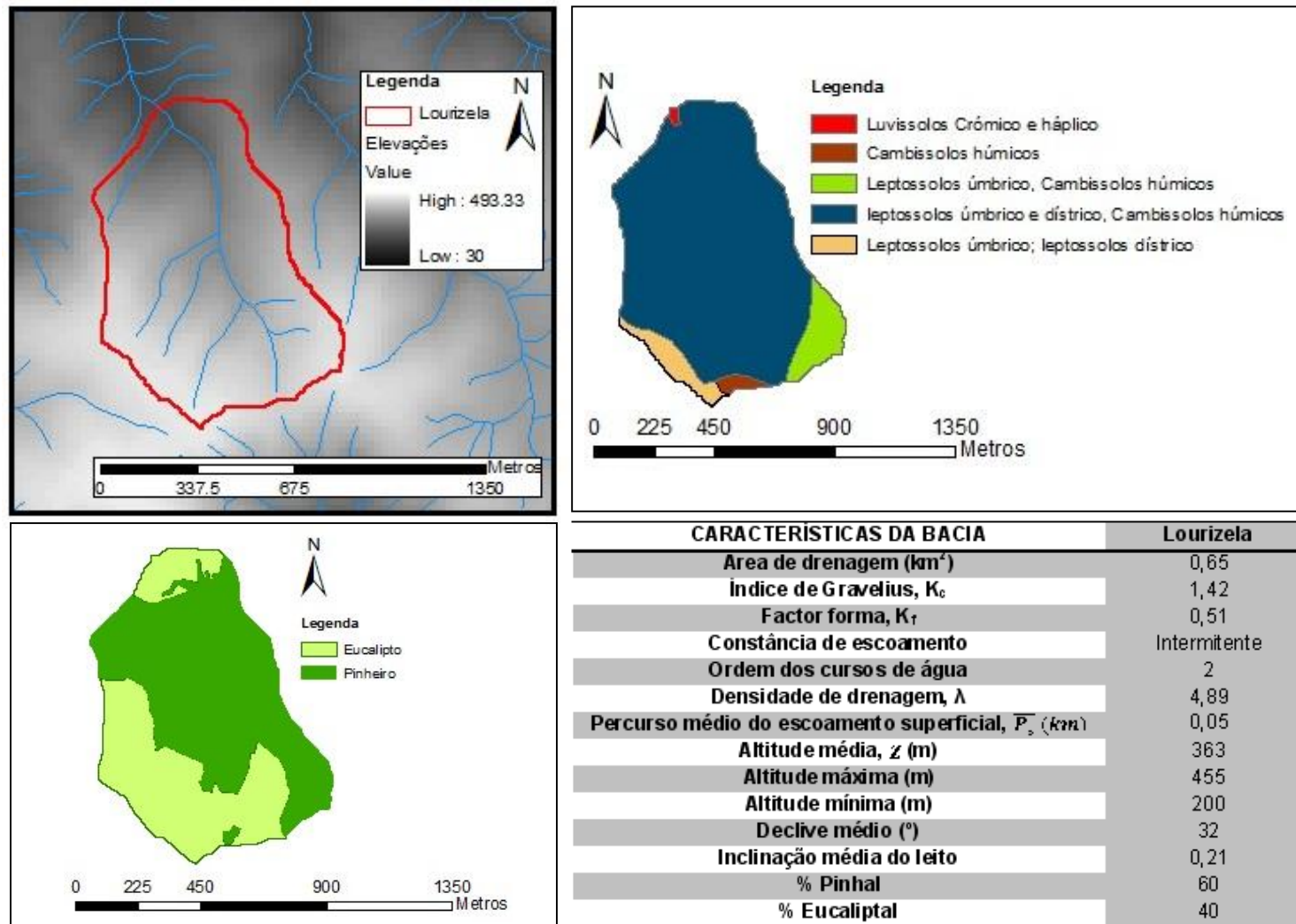
WADE, A. J. ; DURAND, P. ; BEAUJOUAN, V. ; WESSEL, W. W. ; RAAT, K. J.; WHITEHEAD, P. G. ; BUTTERFIELD, D.; RANKINEN, K. ; LEPISTO, A. - A nitrogen model for European catchments: INCA, new model structure and equations. Hydrology and Earth System Sciences. Vol. 6 (2002), p. 559-582.

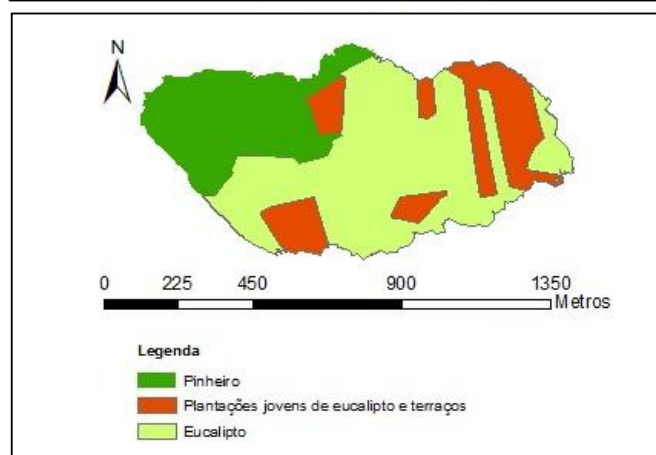
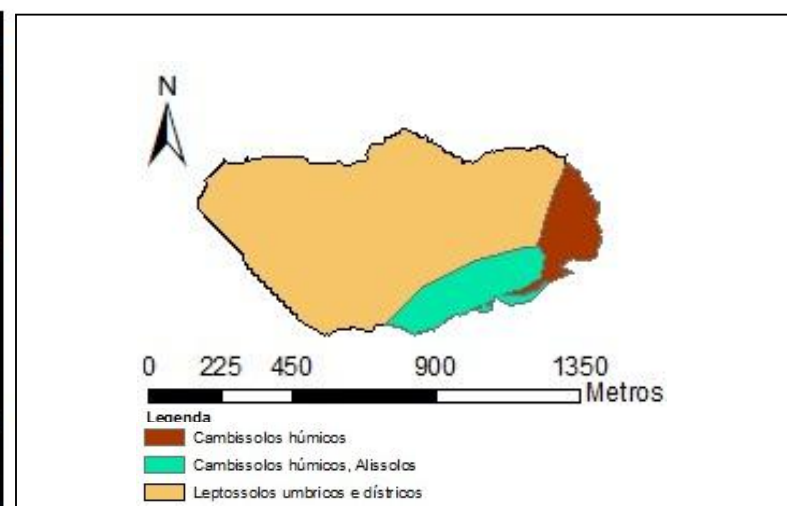
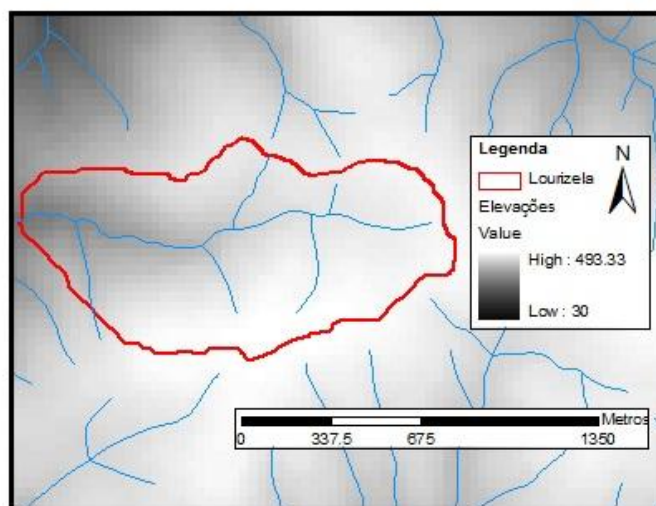
WEI, Q.; ZHU, G.; WU, P.; CUI, L.; ZHANG, K.; ZHOU, J.; ZHANG, W. - Distributions of typical contaminant species in urban short-term storm runoff and their fates during rain events: A case of Xiamen City. Journal of Environmental Sciences. Vol. 22, n.º 4 (2010), p. 533-539.

WHITEHEAD, P. G.; WILSON, E. J.; BUTTERFIELD, D. - A semi-distributed Integrated Nitrogen model for multiple source assessment in Catchments (INCA): Part I — model structure and process equations. Science of The Total Environment. ISSN 0048-9697. Vol. 210-211, n.º 0 (1998), p. 547-558.

ANEXOS

Anexo A: Características das bacias em estudo.





| CARACTERÍSTICAS DA BACIA | | Serra de Cima |
|---|--|---------------|
| Área de drenagem (km ²) | | 0,52 |
| Índice de Gravelius, K _G | | 1,52 |
| Fator forma, K _F | | 0,45 |
| Constância de escoamento | | Intermitente |
| Ordem dos cursos de água | | 2 |
| Densidade de drenagem, λ | | 4,37 |
| Percurso médio do escoamento superficial, P _s (km) | | 0,06 |
| Altitude média, \bar{Z} (m) | | 431 |
| Altitude máxima (m) | | 486 |
| Altitude mínima (m) | | 277 |
| Declive médio (°) | | 28 |
| Inclinação média do leito | | 0,18 |
| % Pinhal e acácia | | 29 |
| % Eucalipto | | 67 |
| % Plantações jovens e terraços de eucalipto | | 4 |

Anexo B: Comportamento hidrológico das bacias em estudo.

Tabela 16 – Características das respostas hidrológicas na bacia de Serra de Cima.

| | Evento 1 | Evento 2 | Evento 3 | Evento 4 | Evento 5 | Evento 6 | Evento 7 | Evento 8 | Evento 9 | Evento 10 | Evento 11 | Evento 12 | Evento 13 | Evento 14 |
|--|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Data/Hora do evento de precipitação | 21 a 22/11/11 8:30 às 9:11 | 10/12/11 2:32 às 8:54 | 10/12/11 16:00 às 23:59 | 13 a 14/12/11 6:01 às 12:58 | 1 a 2/1/12 18:30 às 22:00 | 3/3/12 7:44 às 22:52 | 13 a 14/4/12 11:18 às 17:39 | 17 a 17/4/12 9:15 às 18:29 | 18 a 19/4/12 6:17 às 0:34 | 19 a 20/4/12 20:33 às 13:00 | 20 a 21/4/12 19:04 às 16:12 | 25/4/12 10:00 às 15:48 | 1 a 2/5/12 11:02 às 22:41 | 3 a 4/5/12 17:29 às 10:42 |
| P_{total} (mm) | 31 | 21,6 | 21,2 | 34,6 | 14,4 | 29,6 | 35,2 | 7,8 | 21,2 | 27,4 | 28,6 | 26,2 | 41,2 | 31 |
| I_{méd} (mm/h) | 3,3 | 8,8 | 3,4 | 4,95 | 0,9 | 4,4 | 4,0 | 3,6 | 2,1 | 2,8 | 2,6 | 7,5 | 3,8 | 8,6 |
| I_{máx} (mm/h) | 7,7 | 23,5 | 5,6 | 8,9 | 3,7 | 11,5 | 15,3 | 8,1 | 8,4 | 7,2 | 9,6 | 21,3 | 10,1 | 23,0 |
| Q_{méd} (l/s) | 15,1 | 5,6 | 16,9 | 28,9 | 4,3 | 1,8 | 2,8 | 1,4 | 2,4 | 10,2 | 14,8 | 36,7 | 30,7 | 77,3 |
| Q_{máx} (l/s) | 32,3 | 12,7 | 25,1 | 57,1 | 8,4 | 4,8 | 7,1 | 1,9 | 4,4 | 15,8 | 23,1 | 70,2 | 49,0 | 134,1 |
| Vesc (mm) | 3,1 | 0,4 | 2,7 | 5,0 | 0,8 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,5 | 1,0 | 4,9 | 9,7 | 4,3 | 8,7 |
| Q_{base} (L/s) | 8,3 | 1,7 | 12,5 | 21,7 | 3,7 | 1,3 | 1,9 | 0,8 | 1,7 | 4,5 | 12,6 | 28,7 | 19,1 | 55,2 |
| CEsc (%) | 9,84 | 1,82 | 12,77 | 14,52 | 5,85 | 0,83 | 1,23 | 1,59 | 2,25 | 3,63 | 16,99 | 37,09 | 10,40 | 28,12 |
| t_a/t_r (horas) | 9/19 | 7/2 | 6/16 | 5/19 | 4/23 | 10/11 | 3/11 | 8/4 | 15/13 | 7/6 | 19/27 | 5/32 | 12/7 | 7/8 |
| Data/hora do evento de caudal | 21 a 23/11/11 23:00 às 3:00 | 10/12/11 2:00 às 11:00 | 11/12/11 18:00 às 16:00 | 13 a 14/12/11 19:00 às 19:00 | 1 a 2/1/12 19:00 às 22:00 | 3 a 4/3/12 18:00 às 8:00 | 14/4/12 1:00 às 22:00 | 18/4/12 16:00 às 4:00 | 19/4/12 13:00 às 17:00 | 20/4/12 1:00 às 14:00 | 22/4/12 18:00 às 16:00 | 26/4/12 10:00 às 23:00 | 3/5/12 9:00 às 4:00 | 4/5/12 20:00 às 11:00 |
| P_{antecedente} (mm) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1Dia antes | 6 | 15 | 27,4 | 15 | 1,2 | 26,4 | 23,2 | 7 | 14,2 | 35 | 51,8 | 0 | 24,8 | 40,8 |
| 3Dias antes | 21,2 | 15,2 | 27,6 | 66,6 | 1,2 | 26,6 | 23,4 | 28,2 | 14,2 | 58,2 | 75,2 | 5,2 | 31,4 | 50,2 |
| 5Dias antes | 21,6 | 20,8 | 33,2 | 67 | 1,2 | 26,6 | 33 | 42,4 | 49,4 | 58,2 | 83 | 59,8 | 31,8 | 56,4 |
| 7Dias antes | 59,4 | 22,6 | 35 | 67,8 | 1,2 | 26,6 | 33,2 | 52 | 49,6 | 93,4 | 104,2 | 83,2 | 80,8 | 60,6 |
| 15Dias antes | 112,4 | 32,8 | 45 | 84,4 | 1,8 | 26,6 | 36,8 | 52,4 | 59,6 | 103,4 | 128,2 | 136 | 171,8 | 188,6 |
| 21Dias antes | 178,8 | 71,2 | 83,6 | 115,6 | 56,8 | 26,6 | 37 | 55,8 | 63 | 107 | 131,8 | 136,2 | 207,2 | 231,8 |

Tabela 17 – Características das respostas hidrológicas na bacia de Lourizela (picos coincidentes com os amostrados em de Serra de Cima).

| | Evento 1 | Evento 2 | Evento 3 | Evento 4 | Evento 5 | Evento 6 | Evento 7 | Evento 8 | Evento 9 | Evento 10 | Evento 11 | Evento 12 | Evento 13 | Evento 14 | Evento 6* |
|--|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Data/Hora do evento de precipitação | 21 a 22/11/11 8:30 às 9:11 | 10/12/11 2:32 às 8:54 | 10/12/11 16:00 às 23:59 | 13 a 14/12/11 6:01 às 12:58 | 1 a 2/1/12 18:30 às 22:00 | 3/3/12 7:44 às 22:52 | 13 a 14/4/12 11:18 às 17:39 | 17 a 17/4/12 9:15 às 18:29 | 18 a 19/4/12 6:17 às 0:34 | 19 a 20/4/12 20:33 às 13:00 | 20 a 21/4/12 19:04 às 16:12 | 25/4/12 10:00 às 15:48 | 1 a 2/5/12 11:02 às 22:41 | 3 a 4/5/12 17:29 às 10:42 | 4/3/12 08:39 às 13:00 |
| P_{total} (mm) | 31 | 21,6 | 21,2 | 34,6 | 14,4 | 29,6 | 35,2 | 7,8 | 21,2 | 27,4 | 28,6 | 26,2 | 41,2 | 31 | 4,8 |
| I_{méd} (mm/h) | 3,3 | 8,8 | 3,4 | 4,95 | 0,9 | 4,4 | 4,0 | 3,6 | 2,1 | 2,8 | 2,6 | 7,5 | 3,8 | 8,6 | 2,1 |
| I_{máx} (mm/h) | 7,7 | 23,5 | 5,6 | 8,9 | 3,7 | 11,5 | 15,3 | 8,1 | 8,4 | 7,2 | 9,6 | 21,3 | 10,1 | 23,0 | 4,1 |
| Q_{méd} (l/s) | 11,0 | 4,5 | 8,2 | 33,8 | 5,7 | 0,6 | 3,9 | ... | 3,5 | 8,0 | 15,9 | 30,8 | ... | 144,5 | 0,4 |
| Q_{máx} (l/s) | 14,9 | 6,5 | 10,9 | 56,2 | 8,5 | 1,3 | 7,7 | ... | 5,2 | 11,5 | 20,5 | 44,7 | ... | 314,9 | 0,5 |
| V_{esc} (mm) | 1,9 | 0,4 | 0,5 | 3,4 | 0,9 | 0,1 | 0,2 | ... | 0,5 | 0,6 | 4,0 | 6,9 | ... | 12,1 | 0,0 |
| Q_{base} (L/s) | 9,4 | 2,7 | 5,3 | 21,9 | 5,1 | 0,4 | 0,6 | ... | 1,6 | 3,2 | 10,1 | 19,0 | ... | 79,4 | 0,4 |
| CEsc (%) | 6,07 | 1,62 | 2,14 | 9,78 | 6,18 | 0,21 | 0,61 | ... | 2,14 | 3,30 | 13,93 | 26,16 | ... | 38,93 | 0,83 |
| t_a/t_r (horas) | 11/19 | 7/6 | 6/3 | 6/11 | 3/24 | 4/12 | 3/6 | ... | 13/9 | 6/7 | 15/29 | 8/31 | ... | 5/9 | 3/14 |
| Data/hora do evento de caudal | 21 a 23/11/11 21:00 às 3:00 | 10/12/11 4:00 às 17:00 | 10 a 11/12/11 17:00 às 2:00 | 13 a 14/12/11 19:00 às 12:00 | 1 a 2/1/12 19:00 às 22:00 | 3 a 4/3/12 15:00 às 7:00 | 14/4/12 0:00 às 9:00 | ... | 18 a 19/4/12 16:00 às 14:00 | 20/4/12 1:00 às 14:00 | 21 a 22/4/12 2:00 às 22:00 | 25 a 26/4/12 7:00 às 22:00 | ... | 3 a 4/5/12 21:00 às 15:00 | 4 a 5/4/12 11:00 às 4:00 |
| P_{antecedente} (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1Dia antes | 6 | 2 | 28,2 | 11 | 1,2 | 1,8 | 14,2 | ... | 13,4 | 23 | 36,4 | 4,7 | ... | 40,8 | 32,2 |
| 3Dias antes | 21,2 | 2,2 | 28,4 | 62,6 | 1,2 | 2 | 14,4 | ... | 13,4 | 30,8 | 59,8 | 9,6 | ... | 50,2 | 32,4 |
| 5Dias antes | 21,6 | 7,8 | 33,8 | 63 | 1,2 | 2 | 23 | ... | 48,6 | 52 | 67,6 | 64,2 | ... | 56,4 | 32,4 |
| 7Dias antes | 59,4 | 9,6 | 35,6 | 63,8 | 1,2 | 2 | 23,2 | ... | 49,4 | 66,2 | 88,8 | 87,6 | ... | 60,6 | 32,4 |
| 15Dias antes | 112,4 | 19,8 | 45,6 | 80,4 | 1,8 | 2 | 26,8 | ... | 50,2 | 76 | 112,8 | 140,4 | ... | 188,6 | 32,4 |
| 21Dias antes | 178,8 | 58,2 | 84,2 | 111,6 | 56,8 | 2 | 27 | ... | 51 | 79,6 | 116,4 | 140,6 | ... | 231,8 | 32,4 |

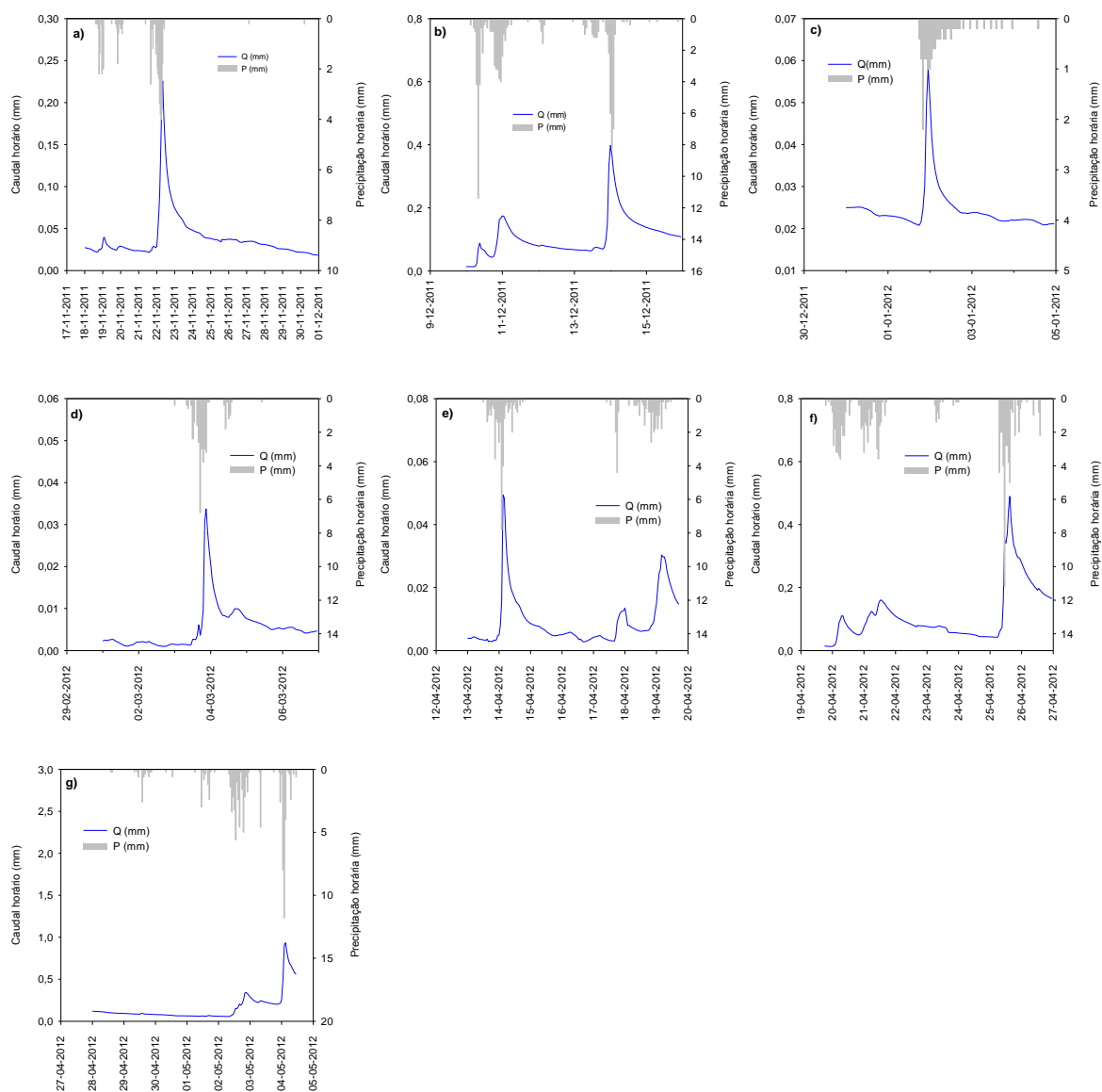


Figura 26 – Comportamento hidrológico dos diferentes picos de cheia em Serra de Cima amostrados durante o período de estudo.

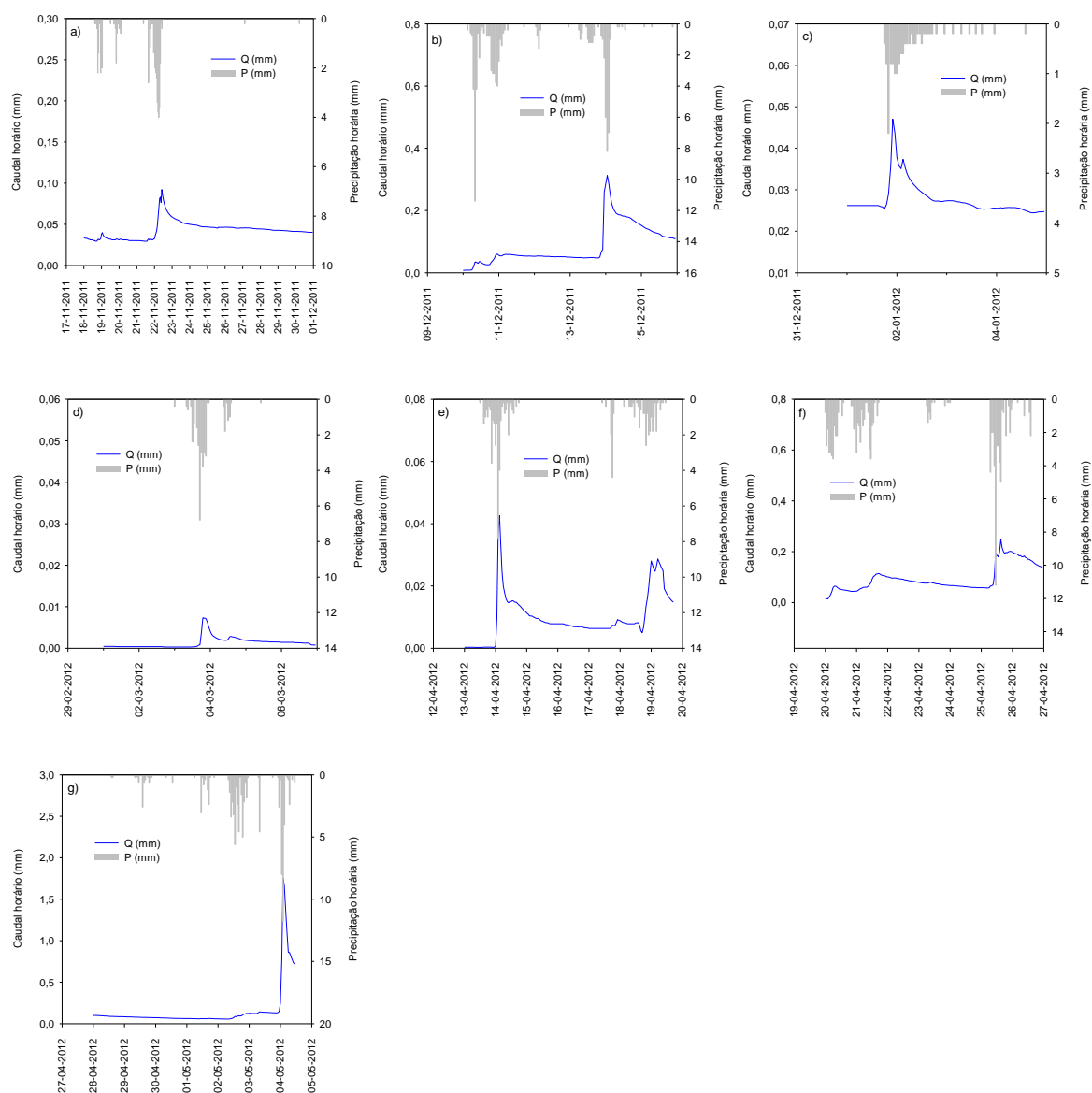


Figura 27 – Comportamento hidrológico dos diferentes picos de cheia em Lourizela amostrados durante o período de estudo (picos coincidentes com os amostrados em Serra de Cima).